



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ŘÍZENÍ KVALITY PROCESŮ ZPRACOVÁNÍ BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝCH ODPADŮ QUALITY CONTROL OF BIODEGRADABLE WASTE PROCESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARIA ISKANDIROVA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR KOŠKA, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Maria Iskandirova

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Metrologie a řízení jakosti (3911T032)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Řízení kvality procesů zpracování biologicky rozložitelných odpadů

v anglickém jazyce:

Quality control of biodegradable waste process

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Biologicky rozložitelné odpady mohou být zpracovávány různými technologiemi, například kompostováním. Vhodnost konkrétní technologie je závislá na charakteru rozložitelného odpadu, případně dalších ovlivňujících faktorech.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je provést analýzu konkrétní technologie zpracování biologicky rozložitelného odpadu a navrhnout zlepšení a optimalizaci procesu:

1. Popis dostupných technologií pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů.
2. Provedení procesní analýzy pro konkrétní technologii.
3. Definovat kritéria řízení kvality.
4. Navrhnout zlepšení nebo optimalizaci procesu.



Seznam odborné literatury:

1. Tošenovský, J., Noskovičová, D.: Statistické metody pro zlepšování jakosti. Montanex, a.s. Ostrava, 2000. ISBN 80-722-5040-X.
2. Fiala, A., Becková, M. a kol.: Management procesů. Průvodce manažera kvality. Verlag Dashofer, nakladatelství, s.r.o. Praha, 2008. ISSN 1802-1697.
3. Zemánek, P. a kol.: Biologicky rozložitelné odpady a kompostování. VÚZT, v.v.i. 1. vydání. Praha, 2010. ISBN 978-80-86884-52-3.
4. Plíva, P. a kol.: Kompostování biomasy v místě jejího vzniku. VÚZT, v.v.i. Praha, 2010.
5. ČSN 46 5735 Průmyslové komposty.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Koška, Ph.D.


Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 9.11.2011




doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Produkce odpadu a obzvláště pak biologicky rozložitelného odpadu provází lidstvo od počátku jeho existence. Tato práce se zabývá popisem a dělením dostupných technologií zpracování těchto odpadů, včetně výhod a nevýhod jejich použití. Dále je pak zaměřena na již podrobnější popis technologie kompostování a popis řízení samotného procesu kompostování s možností ovlivnění jeho výsledných parametrů. Poskytnuté informace od firmy VIA ALTA a.s. z provozu jejich kompostárny v Blansku posloužily k názornému popisu technického vybavení pracoviště, včetně pracovních a technologických postupů.

KLÍČOVÁ SLOVA


Biologicky rozložitelný odpad (BRO); odpad; kompost; anaerobní digesce; recyklace; spalování; termické zpracování; skládkování;

ABSTRACT

The waste production and especially biodegradable waste is following mankind since the beginning of his existence. This thesis deals with a description and dividing of current available waste process technologies, including description of their advantages and disadvantages. The work is also focused on the more detailed description of the composting technology, its control and opportunities to influence on resulting parameters of compost product. The information about technical description of workplace equipments, including industrial and technological processes was provided by the company VIA ALTA from their compost plant in Blansko.

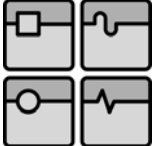
KEY WORDS

Biodegradable waste (BDW); Waste; Compost; Anaerobic Digestion; Recycling; Burning; Combustion; Thermal Processing; Landfill;

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ISKANDIROVA, M.: Řízení kvality procesů zpracování biologicky rozložitelných odpadů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Koška, Ph.D.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem byla seznámena s předpisy pro vypracování diplomové práce a že jsem celou diplomovou práci vypracovala samostatně. Při vypracování diplomové práce jsem respektovala ustanovení předpisů pro diplomové práce a jsem si vědoma toho, že v případě jejich nedodržení nebude moje diplomové práce vedoucím diplomové práce přijata.

V Brně dne

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla poděkovat všem, kteří se jakýmkoliv způsobem podepsali na vzniku této diplomové práce. Zvláště bych chtěla poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Koškovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

1	Úvod	11
2	Technologie zpracování odpadů	12
2.1	Biologicky rozložitelný odpad	12
2.1.1	Složení biologicky rozložitelného odpadu	12
2.1.2	Nakládání s biologicky rozložitelným odpadem	14
2.1.3	Zpracování biologicky rozložitelného odpadu	15
2.2	Podrobný popis zpracování biologicky rozložitelného odpadu	15
2.2.1	Recyklace	16
2.2.2	Termické zpracování (spalování)	18
2.2.3	Skládkování	20
2.2.4	Biologické zpracování biologicky rozložitelných odpadů	21
3	Kompostování	26
3.1	Proces kompostování	26
3.1.1	Přejímka surovin	26
3.1.2	Vstupní úprava surovin	27
3.1.3	Kontrola kvality hotového kompostu	30
3.1.4	Uvádění kompostu na trh	32
3.2	Typy kompostáren	32
3.2.1	Kompostování v pásových hromadách	32
3.2.2	Kompostování v pásových hromadách na zastřešené ploše	34
3.2.3	Kompostování ve vacích	35
3.2.4	Kompostování přímo „na poli“	36
3.2.5	Polní kompostování	38
3.2.6	Malá zařízení	39
4	Činnost společnosti VIA ALTA v oblasti kompostování biologicky rozložitelného odpadu	40
4.1	Popis společnosti VIA ALTA	40
4.2	Popis kompostárny provozované společností VIA ALTA a.s.	40
4.2.1	Přejímka odpadů na kompostárnu	41
4.2.2	Popis provozní haly a přilehlých venkovních ploch	42
4.2.3	Technické vybavení kompostárny	42
4.2.4	Popis pracovního postupu kompostování	45
4.2.5	Vlastní technologický postup	45
4.2.6	Řízení obsahu produktů nacházejících se v surovinách	46
4.2.7	Energetická náročnost procesu	47
4.2.8	Opatření k omezení negativních vlivů kompostárny pro případ havárie ..	47
4.2.9	Zabezpečení ochrany kompostárny	47
4.3	Povinnosti kompostárny	48
4.3.1	Povinnosti obsluhy kompostárny	48
5	Řízení kvality procesu kompostování	49
5.1	Ovlivnění kvality kompostu ve fázi předzpracování	49
5.1.1	Obsah vody ve vstupní surovině	49
5.1.2	Obsah rozpustných pevných látek ve vodě vstupní suroviny	50
5.1.3	Obsah nerozpustných pevných látek ve vodě vstupní suroviny	50
5.1.4	Obsah toxických látek ve vstupní surovině	50
5.1.5	Obsah plyných látek ve vstupní surovině	51

5.1.6	Složení vstupních surovin.....	51
5.1.7	Předzpracování vstupní suroviny – velikost komponentů	52
5.1.8	Předzpracování vstupní suroviny – homogenizace	52
5.1.9	Teplota vstupní suroviny.....	53
5.2	Ovlivnění kvality kompostu při samotném procesu kompostování.....	53
5.2.1	Teplota procesu	54
5.2.2	Voda	56
5.2.3	Provzdušnění.....	57
5.2.4	Překopávání	57
5.3	Konečná úprava vzniklého kompostu	57
5.3.1	Dozrávání vzniklého produktu	57
5.3.2	Postprocesní zpracování vzniklého produktu	58
5.3.3	Balení vzniklého produktu.....	58
6	Optimalizace procesu kompostování	59
6.1	Příklady optimalizace.....	59
6.1.1	Všeobecné příklady optimalizace	59
6.1.2	Optimalizace složení vstupních surovin.....	60
6.1.3	Návrh a projektování kompostárny	62
7	Analýza optimalizace činnosti kompostárny v Blansku	64
8	Závěr.....	67
	Použitá literatura	68
	Seznam použitých symbolů a zkratk.....	73
	Seznam příloh.....	75
	Příloha A	76
	Příloha B	77

1 ÚVOD

Člověk při své činnosti již od počátku své existence produkoval odpad. Bohužel jeho produkce neustále stoupá jak v „západním světě“, tak i v rozvojových částech světa. A v určitých přelidněných oblastech začíná být odpad skutečně smrtící hrozbou. Nejčastějším způsobem jeho skladování je organizace nezajištěných skládek nebo nekontrolovatelné spalování při nízkých teplotách. Při obou těchto na světě nejčastějších i nejlevnějších metodách zpracování odpadů unikají do životního prostředí toxické látky, které buď přímo ovlivňují lidské zdraví, nebo se dostávají do biogenního koloběhu a díky akumulaci ovlivňují dlouhodobě zdraví člověka i celé přírody. Z těchto důvodů je nutné i v těch nejchudších zemích světa zvolit lepší a k životnímu prostředí šetrnější technologie zpracování či uskladnění.

Z historického hlediska si lidé již v době 8000 až 9000 let před n. l. uvědomili vztah mezi hygienou a vznikem epidemií. A proto začali skladovat odpad mimo svá sídla a města, tak aby zabránili šíření různých nemocí, nekontrolovatelnému množení krys a jiných divokých zvířat. Ale také tak, aby odpad neznečistil povrchovou i podzemní pitnou vodu. [1, 2]

Dnešní moderní technologie nám při zpracování odpadu kromě šetrnějšího postoji k životnímu prostředí umožňují navíc získávat teplo, látky použitelné pro další technologické zpracování, případně látky, z nichž je možné získávat teplo jejich postupnou přeměnou po delší dobu. Navíc větší množství užítku je možné získat z odpadu, který je biologicky rozložitelný, což znamená, že tento odpad může být zpracován aerobním nebo anaerobním způsobem. Biologicky rozložitelný odpad (dále BRO) je možné různými technologickými procesy rozložit na jednodušší látky, z větší části anorganické. Navíc tento proces opět uvolňuje určitou část tepelné energie, kterou je možné nadále využít. Výsledný produkt zpravidla nachází také své uplatnění – například kompost.

Dle právních předpisů a Zákona o odpadech č. 185 (2001 Sb.) je odpad definován jako každá nemovitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl či povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů, uvedených v Příloze A. Smysl dělení odpadu podle této terminologie a řazení ho do skupin je univerzální a neplatí pouze pro biologicky rozložitelný odpad.

Tato práce se ve svém úvodu zaměřuje na popis vzniku biologicky rozložitelného odpadu a vývoj moderních technologií, které dokáží takový odpad zpracovat, snížit jeho toxicitu, objemové množství nebo ho částečně recyklovat a tím šetřit přírodní zdroje, energie a životní prostředí. Dále pak detailně popisuje vybranou technologii zpracování BRO – kompostování. Kde je komplexně popsán jak samotný průběh kompostovacího procesu, tak dnes používané principy zpracování biologicky rozložitelného odpadu touto formou. Ve spolupráci s firmou VIA ALTA a.s. byly popsány pracovní a technologické postupy, které tato firma uplatňuje na své provozní kompostárně v Blansku. Nakonec je v práci kapitola, věnována popisu principu řízení jakosti procesu i výsledného produktu při technologickém zpracování BRO pomocí kompostování. Je zde uvedeno i několik optimalizací převážně v provozně-ekonomické sféře za účelem snížení provozních nákladů kompostárny a zvýšení kvality výsledného kompostu.

2 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ ODPADŮ

Jinými slovy odpad je to, co člověk potřeboval, ale už nepotřebuje a musí se ho nějakým způsobem zbavit. „Nějakým způsobem zbavit“ znamená najít vhodnou technologii, pomocí které se dá odpad maximálně zredukovat, případně částečně zužitkovat a co nejmenší množství uložit. Výběr vhodné technologie mnohdy závisí na tom, z čeho se odpad skládá (jeho charakter, toxicita apod.) a co z toho odpadu chceme získat. Skladování odpadu je nejjednodušším a zároveň jedním z nejstarších způsobů jeho likvidace. Nicméně v dnešním přeplněném světě je to otázka omezeného prostoru pro skládky. Je třeba si také uvědomit, že průměrný člověk průmyslového západního světa vyprodukuje za rok až 800 kg odpadu. Odpad je možné také spalovat, opět je to jeden z nejstarších a ne příliš složitých způsobů, ale zde je důležitou otázkou ekologie, protože společně s jeho hořením se do okolního vzduchu a životního prostředí vylučuje velké množství škodlivých a karcinogenních látek. Navíc pokud hoření neprobíhá rovnoměrně, bez dostatečného přístupu vzduchu-kyslíku, vznikají další, zdraví a životnímu prostředí nebezpečné látky. Dalším technologickým zpracováním je recyklace. V současné době je to jeden z nejvíce ekologicky preferovaných způsobů zpracování. Umožňuje nám získání většího množství znovupoužitelných surovin z odpadků a jejich navrácení zpět do výrobního cyklu. Při zpracování biologicky rozložitelného odpadu je nejrozšířenějším technologickým postupem kompostování. Umožňuje nám přirozeným procesem biologicky rozložitelný odpad přeměnit na další použitelné látky. Na technologické úrovni je v současné době vyvinuta celá řada dalších způsobů, které mají své výhody, ale i nevýhody. Dnes nacházejí své uplatnění pouze ty technologie, které jsou ekonomicky výhodné. Bohužel právě ty ekonomičtěji náročnější umožňují zbavit se odpadu takřka beze zbytku a s minimálním znečištěním životního prostředí. Naopak metody, ekonomicky šetrné, jsou v dnešní době používány nejvíce.

Abychom mohli srovnávat různé technologické způsoby zpracování biologicky rozložitelných odpadů, potřebujeme vytvořit jejich podrobný popis. Právě tomuto popisu bude věnována první část práce.

2.1 Biologicky rozložitelný odpad

Jak už bylo řečeno v úvodu a na začátku této kapitoly, tak biologicky rozložitelný odpad je odpad, který může být zpracován aerobním nebo anaerobním způsobem. Z BRO se může mezi ostatními odpady získat největší množství užitku, zpětně a ekologicky získané energie, případně dalších upotřebitelných surovin, protože obsahují velké množství rostlinných zbytků a organických látek, které je možné opět stabilizovat a opět výhodně uvádět do přírodního koloběhu, například jako organické hnojivo, kompost apod. Také je možné je různými technologickými procesy rozložit na látky jednodušší, z větší části anorganické, látky, navíc za uvolnění tepelné energie, kterou je možné nadále využít. Zvláštní kapitolou je bioplyn, který je možné akumulovat a podle potřeby využívat k pohonu, ohřevu TUV, případně k výrobě elektrické energie, nebo jako náhrada motorového paliva. [3]

2.1.1 Složení biologicky rozložitelného odpadu

Ke vzniku BRO zpravidla z největší části přispívají následujících průmyslová a jiná odvětví: zahradnické, lesnické, zemědělské odpady, odpady z potravinářského a

papírensko-celulozářského průmyslu, odpady z kožedělného a textilního průmyslu, ze zpracování dřeva, papírové a dřevěné obaly, čistírenské a vodárenské kaly. Zvláštní kategorií BRO, se kterou se setkáváme velmi často v domácnostech nebo na ulicích, je komunální odpad – bioodpad, který běžně tvoří 30 až 40 % komunálního odpadu. V následující *tabulce 2-1* je znázorněn původ a složení jednotlivých složek biologicky rozložitelného odpadu.

Tab. 2-1 Složení biologicky rozložitelného odpadu [4]

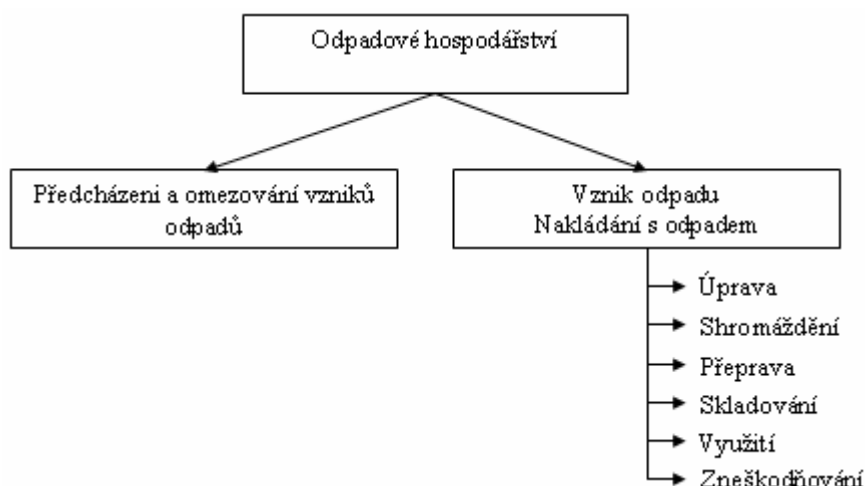
Číslo	Původ	Složky	Popis
1	Odpady ze zemědělské činnosti	Odpady z rostlinné výroby	Silážní šťávy, sláma, bramborová nať, znehodnocená krmiva (zelená píce, seno, siláže, senáže), nadzemní hmota plodin na semeno po chemickém ošetření – desikaci, řepný chrást
		Odpady živočišného původu	Chlévská mrva (chlévkový hnůj), močůvka, hnojůvka, kejda
2	Odpady z potravinářského průmyslu	Odpady z mlynářského průmyslu	Otruby, zadní mouky, zemitý prach
		Odpady ze sladovnického průmyslu	Zadina, splávky odpadní máčecí vody
		Odpady s pivovarského průmyslu	Odpadní vody, pivovarské kvasnice, pivovarské mláto, hořké kaly
		Odpady ze škrobářského průmyslu	Plavící a prací vody, zdrtky (odpadní drť brambor)
		Odpady z lihovarnického průmyslu	Výpalky, lihovarnická šáma, odpadní vody
		Odpady z cukrovarnického průmyslu	Odpadní vody, melasa, zemité kaly, saturační kaly, vyslazené řízky, řepné kořínky a úlomky
		Odpady z tukového a olejářského průmyslu	Slupky, pokrutiny, olejnaté kaly, pokrutinové šroty, olejnatá drť
		Odpady z konzervářského průmyslu	Listeny a košťály, výlisky, slupky, zeleninová nať, semena, odpadní vody
		Odpady z vinařského průmyslu	Kvasničné kaly kašovitě, pastové
		Odpady mlékářského průmyslu	Syrovátka, mlékářské kaly
		Odpady z masného průmyslu	Krev, kosti, rohovina, tukové odpady, odpady z jatek
3	Kaly z čistíren odpadních vod		
4	Zahradnické odpady	Odpady ze zeleniny: kořenové	Veškeré nadzemní části, poškozené a nestandardní kořeny, zbytky po čistění Nať s kořeny, listy, plevelné rostliny Listeny, košťály, kořeny
		plodové	
		košťálové	
		Listí	
		BRO z ovocných sadů	
		BRO z vinic	
		Výlisky z hroznů - matoliny	
		Výlisky z jablek	

Číslo	Původ	Složky	Popis
5	Produkce zahradních BRO v komunální sféře	BRO z údržby stromů	Mladé výhony, včetně kosterních větví, kmenů a pařezů ošetřovaných či likvidovaných dřevin
		BRO z údržby keřů	
		BRO z zemědělsky nevyzítvaných ploch	
		BRO z údržby trávnickových ploch	
		BRO z ostatních okrasných ploch	
6.	Ostatní druhy BRO	Listí lesních dřevin	
		Jehličí	
		Drcený klest – lesní štěpka	
		Kůra	
		Piliny a hobliny	
7	Biologicky rozložitelný komunální odpad ze separovaných sběrů (BRKO)		

Z tabulky 2-1 je patrné, že BRO zabírají rozsáhlou oblast vzniku, která se přímo dotýká většiny průmyslových odvětví, činnosti lidí a továren, které zpracovávají přírodní suroviny.

2.1.2 Nakládání s biologicky rozložitelným odpadem

Stejně jako nakládání s jakýmkoli odpadem, tak i nakládání s BRO vyžaduje dodržení určitých právních předpisů. Veškerá právní dokumentace v této oblasti je zaměřená na předcházení vzniku odpadů nebo jeho omezení. A pokud již odpady tohoto charakteru vzniknou, tak další nakládání musí zajistit jejich maximální využití jako druhotné suroviny v původní nebo upravené formě a minimální škodu životnímu prostředí. Následující *obrázek 2-1* znázorňuje dělení cílů odpadového hospodářství, které se na jedné straně stará o minimalizaci a předcházení vzniku odpadů a na straně druhé – pokud již tyto odpady vzniknou, říká jak s nimi naložit.



Obr. 2-1 Cíle odpadového hospodářství

Podle zákona o odpadech č. 185/2001 Sb. nakládání s odpady (a taky s bioopady) je možné rozdělit do několika skupin. Tou první je jeho shromažďování na jednom místě. Aby bylo možné odpad shromáždit, je nutné zrealizovat jeho sběr, případně výkup. Zpravidla je odpad nutné shromáždit na jednom místě, takže je třeba uvažovat o přepravě, či dopravě. Samostatným úkonem při nakládání s odpady je jejich skladování, případná následující úprava, využití, či odstranění nežádoucích částí a složek. V rámci odpadového hospodářství musí být dodržována následující hierarchie způsobů nakládání s odpady:

- 1) předcházení vzniku odpadů;
- 2) příprava k opětovnému použití;
- 3) recyklace odpadů;
- 4) jiné využití odpadů (např. energetické);
- 5) odstranění odpadů; [5]

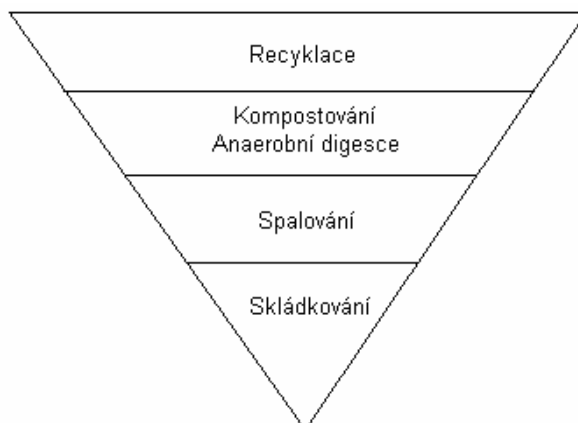
2.1.3 Zpracování biologicky rozložitelného odpadu

Všechny druhy odpadů je možné rozdělit do dvou velkých skupin - zpracovatelné a nezpracovatelné. Stejně tak je možné BRO rozdělit do těchto dvou skupin, případně jeho separovatelné části. Zpracovatelné odpady se pak ještě dělí na zpracovávané a nezpracovávané. Z hlediska tohoto dělení je většina BRO zpracovatelná a zpracovávaná. To znamená, že tento odpad lze využít jako druhotnou surovinu v různých výrobních procesech. [6]

2.2 Podrobný popis zpracování biologicky rozložitelného odpadu

Dále je možné popsat možnosti, které máme pro zpracování BRO, případně další využití surovin nebo energií, které vznikají při zpracování. Všechny možné technologie zpracování odpadů můžeme rozdělit do následujících čtyř skupin:

- recyklace;
- skládkování;
- termické zpracování odpadů (spalování);
- biologické zpracování odpadů (anaerobní digesce a kompostování);



Obr. 2-2 Hierarchie použití metod zpracování BRO [31]

Vždy je nutné využít veškerých možností zpracování biologicky rozložitelného odpadu. Musí být tedy dodržovaná hierarchie použití možných metod zobrazená na *obrázku 2-2*.

2.2.1 Recyklace

Pro nás asi nejdůležitější, také z hlediska šetření přírodních zdrojů a ekologie nejvýznamnější, je recyklace. Je to technologie zpracování odpadu založená na opětovném využívání odpadů, látek a energií jako druhotných surovin. Umožňuje navracení zpracovávaných látek zpět do výrobního procesu a zpracování nových materiálů. Recyklace šetří přírodní zdroje, energii a snižuje ekologické zátěže životního prostředí škodlivými látkami. [7]

Mezi biologicky rozložitelné odpady, které je možné zpracovat pomocí recyklace patří odpady papírensko-celulóžářského a textilního průmyslu.

2.2.1.1 Recyklace v papírenském průmyslu

Recyklace v papírenském průmyslu se skládá z následujících procesů:

- 1) třídění papíru na jednotlivé druhy na třídící lince a jejich lisování do balíků, případně do jiných útvarů;
- 2) přeprava jednotlivých druhů papíru v papírnách, které se skládají z rozvlákněného papíru ve vodě, spočívá v natírání vlákniny na síta, předsoušení, lisování, hlazení a dosoušení;
- 3) výroba z recyklovaného papíru, například novinový papír, sešity, obaly na vejce, lepenkové krabice nebo toaletní papíry;

Díky tomuto procesu může být papír recyklován až sedmkrát, pak je papírové vlákno už tolik krátké a nekvalitní, že se nezachytí na papírenských sítích, ale je stále možné jeho využití například k výrobě tepelné energie. Na následujícím *obrázku 2-3* je ukázka průmyslové recyklace v papírenském průmyslu. [8, 9]



Obr. 2-3 Recyklace v papírenském průmyslu

2.2.1.2 Recyklace v textilním průmyslu

Výrobky textilního průmyslu je možné recyklovat následujícím způsobem:

- 1) třídění textilií podle předpokládaného účelu použití;
- 2) třídění materiálu ke zpracování na druhotné suroviny s ohledem na možný způsob úpravy odpadu podle materiálového složení, barevného odstínu, technologie původního zpracování atd.;
- 3) Úprava na druhotné suroviny, které se většinou získávají ve formě vláken. Vláknina může pocházet z vyčištěných vláknenných odpadů přádelny, roztavených odpadů z umělých vláken, plošných textilií rozvolněných trháním a (částečně) rozvolněných plošných textilií a nití krácených sekáním.

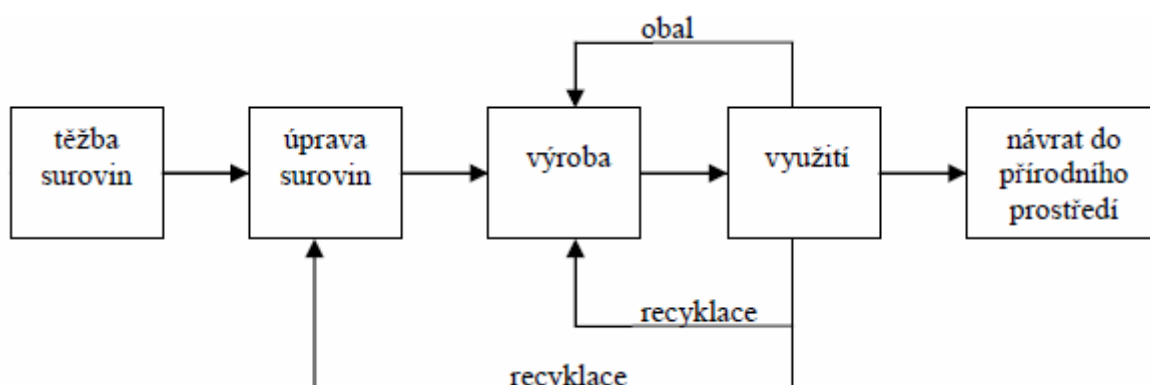
Získané druhotné suroviny se přidávají do přízí, netkaných textilií, granulátů a tavenin na nové zvlákňování. Na následujícím obrázku 2-4 je ukázka průmyslové recyklace v textilním průmyslu. [10]



Obr. 2-4 Recyklace v textilním průmyslu

2.2.1.3 Všeobecná recyklace v průmyslu

Základní obecný postup procesu všeobecné recyklace je zobrazen na obrázku 2-5. Vždy počítá s několikanásobným navracením již použitého výrobku opět buď do výroby, nebo k úpravě surovin. Pokud již není možné surovinu nebo výrobek nadále recyklovat nebo také při recyklaci dochází k určitým ztrátám, je snaha o návratu suroviny do přírodního prostředí, kde se časem rozloží na původní činidle.



Obr. 2-5 Lineární proces recyklace [5]

Dále jsou uvedeny a nevýhody recyklace, které doprovází zpracování odpadu. Mezi výhody patří následující vlastnosti procesu:

- úspory prvotních surovin a jejich zachování pro příští generace;
- snížení ničení krajiny při těžbě surovin;
- snížení spotřeby energie a znečištění při výrobě z druhotných surovin;
- menší náklady na zpracování odpadů;

Bohužel každá technologie zpracování odpadu má své nevýhody, kterými v případě recyklace jsou:

- nemožnost nekonečné recyklace;
- vysoká cena recyklovatelného výrobku, která může překročit cenu výrobku z prvotní suroviny; [8]

2.2.2 Termické zpracování (spalování)

Druhou možností zpracování biologicky rozložitelných odpadů představuje termické zpracování, což je proces působení na odpad teplotou přesahující mez její chemické stability, tedy chemických vazeb, které se při překročení této teploty ničí a látka se přeměňuje na své subčinitele. U organických látek dochází k přeměně na jednodušší organické látky a v nejvyšším stádiu se tyto látky přeměňují na anorganické. Termické metody zpracování odpadu můžeme rozdělit na oxidační procesy, kam patří spalování, a na redukční procesy, mezi které patří pyrolýza a zplyňování odpadů

Pro termické zpracování BRO se zpravidla využívá spalování. Spalováním je chemická reakce, při které dochází za vysokých teplot a přístupu vzduchu (kyslíku) k oxidaci paliv s intenzivním uvolněním tepla. Mezi BRO, které mohou být zpracovány spalováním patří komunální, zemědělské a lesnické odpady.

Proces samovolného spalování biologicky rozložitelných odpadů probíhá při teplotě 800 až 1450°C a tlaku 1 bar ve vzdušné atmosféře. Produkty procesu jsou anorganické plyny a látky: CO₂, H₂O, O₂, N₂, popel a struska. [11, 12]

2.2.2.1 Proces spalování

Celkový proces spalování se skládá z následujících fází:

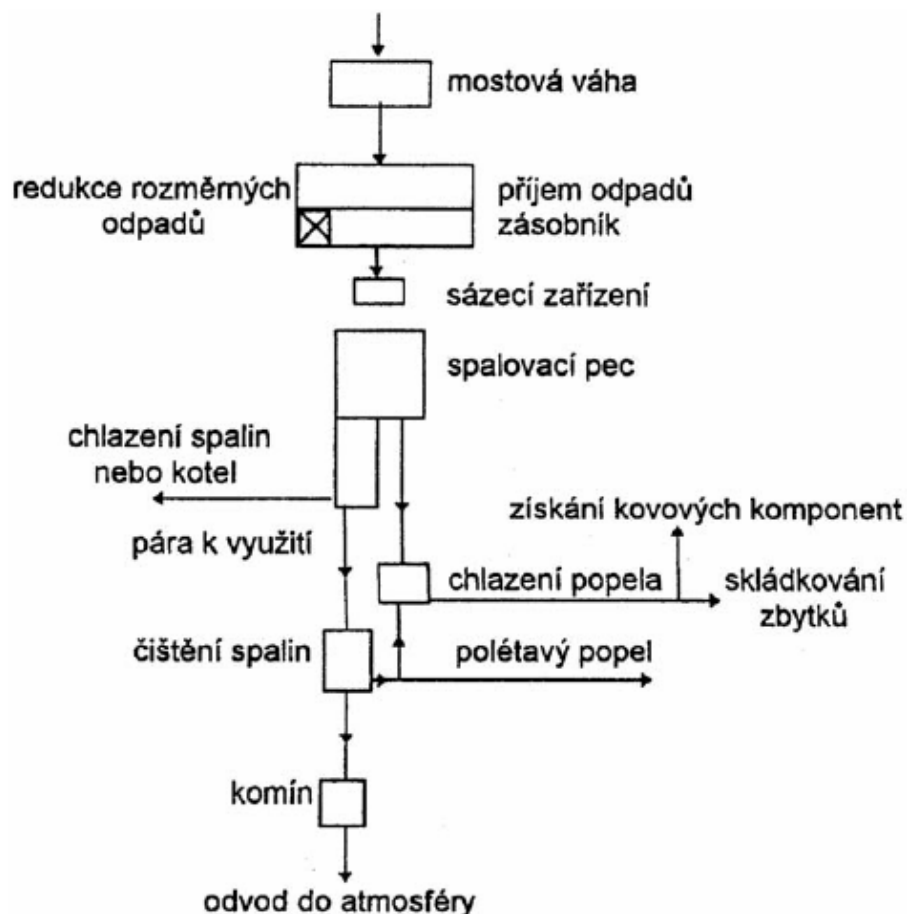
- 1) Předsoušení odpadů: teplota kolem 100°C, voda v odpadu se mění v páru
- 2) odplyňování odpadů: teplota 200 až 600°C, hořlavé látky se přeměňují na těkavé složky
- 3) zapálení odpadů: teplota 500 až 800°C, prohořívá lože odpadů
- 4) hoření: teplota 1000 až 1100°C, v loži vzniká popel a škvára
- 5) vyhořívání a odvádění tepla: teplota je až 1200°C, odvádí se teplo, z roštu odcházejí popel, škvára a nespalitelný zbytek odpadů [13]

Ukázka ze spalovny BRO je znázorněna na *obrázku 2-6*.



Obr. 2-6 Ukázka z procesu spalování BRO

Celý proces spalování je znázorněn na následujícím schématu viz. *obrázek 2-7*, kde se opět využívá co největší redukce pevných opadů. Hlavní částí je spalovací pec, kde se spalováním získává teplo, které je možné použít jak k udržení samotné reakce, tak k dalším technologickým účelům. Organické látky se ve spalovací peci mění na anorganické převážně pevného, ale také plynného skupenství. Látky plynného skupenství po průchodu přes zachytávače sazí a filtry jsou vypouštěny do životního prostředí nebo uskladněny a dále technologicky zpracovány. Vzniklými pevnými látkami je popel, případně zachycené saze a struska. Bohužel jsou v pevném odpadu koncentrovány škodlivé látky a toxické těžké kovy, proto je nutné s ním zacházet jako s toxickým materiálem. Nejčastěji se skladují nebo ukládají do předem určených skládek a uložení popela. [14]



Obr. 2-7 Postup spalování odpadů [14]

2.2.2.2 Výhody a nevýhody spalování

Mezi hlavní výhody této technologie zpracování odpadu patří:

- vysoká rychlost zpracování při porovnávání s kompostováním a skládkováním;
- možnost spalování odpadů různých konsistencí a původu;
- snížení objemu ukládaných odpadů o 70 až 99 %;
- možnost využití tepla uvolněného při spalování odpadu nebo jeho přeměna na jinou formu energie (výroba elektrické energie a páry, ohřev vody);
- dokonalá hygienizace při zpracování biologicky nebezpečného odpadu;
- detoxikace organických polutantů;

Oproti výhodám stojí následující nevýhody:

- stavba spalovny je finančně náročná akce;
- vysoké náklady na provoz a údržbu spalovny;
- nedokonalé spalování vede ke vzniku škodlivých organických chlorovaných a fluorovaných sloučenin;
- potřeba kvalifikované obsluhy; [8, 15]

2.2.3 Skládkování

Třetí možný způsob zpracování odpadů je skládkování. Skládkování je způsob nakládání s odpady, který předpokládá ukládání odpadu na skládky. Skládkou je myšleno technické zařízení určené k odstraňování odpadů jejich trvalým uložením na povrchu země nebo v zemi. Tento způsob je posledním v řetězci odstraňování odpadů.

Skládkování BRO bohužel vede ke vzniku nebezpečného skleníkového plynu metanu, který významně přispívá k globálnímu oteplování, proto množství ukládaných na skládky BRO je omezeno požadavky Směrnice rady 99/31/EC platná v EU "O skládkování odpadů".

Omezení skládkování BRO se může řešit třeba zvýšením recyklace papíru, kompostováním BRO a nebo spalováním směsného komunálního odpadu. Ukázka skládkování biologicky rozložitelných odpadů je uvedena na *obrázku 2-8*. [16]



Obr. 2-8 Skládkování biologicky rozložitelných odpadů

2.2.4 Biologické zpracování biologicky rozložitelných odpadů

Biologickému zpracování podléhají:

- komunální odpady;
- lesnické odpady;
- zemědělské odpady z rostlinné a živočišné výroby;
- kaly z čističek odpadních vod;
- odpady z potravinářského a dřevozpracujícího průmyslu;

Všechny možné metody zpracování BRO můžeme rozdělit do dvou skupin. Těmi jsou metody založené na:

- aerobním rozkladu;
- anaerobním rozkladu;

Mezi aerobní procesy rozkladu patří již zmíněné kompostování, což je aerobní biologický proces rozkladu, během kterého se organická hmota přeměňuje na stabilní humusové látky. Během tohoto procesu musí být zajištěn dostatečný přístup vzduchu, který je nezbytný pro rozvoj aerobních mikroorganismů potřebných pro rozklad organické hmoty. [8, 17, 18]

Konečným produktem kompostování je kompost, což je organické hnojivo obsahující stabilizované organické látky a rostlinné živiny, používané pro zlepšení půdy a mající deklarované kvalitativní znaky. Ukázka kompostování BRO je znázorněna na obrázku 2-9. [18, 19]



Obr. 2-9 Kompostování BRO

Následující *tabulka 2-2* zahrnuje seznam odpadů, které patří nebo naopak nepatří do odpadů zpracovávaných kompostováním. Tato hranice dělení není vždy pevná, neboť není zákonem pevně dána, ale tímto „doporučením“ se předchází nežádoucím vlivům nebo dopadům na výsledný produkt, který by nebyl kvalitní a neměl by dané deklarované kvalitativní znaky.

Při kompostování za kontrolovaných podmínek a pomocí bakterií, hub, hmyzu a žížal se organické látky velmi rychle rozkládají a tím přírodní cestou dochází k recyklaci dusíku, draslíku fosforu a dalších prvků. [8, 17]

Tab. 2-2 Odpady podléhající/nepodléhající procesu kompostování [17]

Do kompostu patří	Do kompostu nepatří
<ul style="list-style-type: none"> - listí, drobné nebo drcené větve - hnůj od hospodářských zvířat - piliny a jemný dřevní odpad - běžný kuchyňský odpad rostlinného původu - drcený karton a papír běžného původu - zbytky ovoce a zeleniny - tráva a běžné druhy plevelů - zelené části rostlin 	<ul style="list-style-type: none"> - dřevěné odřezky a větve ve velkých kusech či průměrech - semena invazivních plevelů - překližka a jiné materiály ze dřeva s pojivy - zbytky rostlin zasažené úpornými druhy plísní - lakované nebo natírané dřevo - maso, drůbež a mléčné výrobky - křídový nebo voskovaný papír

2.2.4.1 Proces kompostování

Proces kompostování je možné rozdělit na tři fáze:

- mezofilní (zvýšení teploty na 25 až 45 °C vlivem mikroorganismů, klesání pH pod vlivem tvorby organických kyselin (propanová, octová, máselná, mravenčí), rozvoj plísní a mezofilních mikroorganismů, rozklad lehce rozložitelných látek (cukry, lipidy, škroby, bílkoviny apod.) na jednodušší látky);
- termofilní (zvýšení teploty působením biologické oxidace termofilními bakteriemi (aktinomycety, mykobakterie apod.) na 45 až 70 °C., rozklad celulózy, ligninu a jejich přeměně na humus, narušení plevelů a odstranění patogenních mikroorganismů);
- dozrávací (dozrávání kompostů, teplota blízká okolí, stoupání pH, stabilizace humusových látek a dotváření stabilního kompostu; [20, 21])

2.2.4.2 Rozsah kompostování

Komunitní - to je systém sběru a shromažďování rostlinných zbytků z údržby zeleně a zahrad na území obce, jejich úprava a následné zpracování na „zelený“ kompost, který může být využit k údržbě a obnově veřejné zeleně obce. To je jeden ze způsobů předcházení vzniku odpadů, při kterém není potřeba vést evidenci použitých materiálů. Systém komunitního kompostování je nekomerční a vyrobený "zelený" kompost lze využít jenom k údržbě a obnově zeleně na území obce. [22, 23]

Domácí (domovní) - domácí kompostování je ještě jeden ze způsobů prevence vzniku odpadů. Tento typ kompostování se používá, jestliže na území obce převažují rodinné domky se zahradami. Kompostování se probíhá v kompostérech nebo na zákládkách na zahradě, každý provozovatel zahrady si kompostuje své odpady a vyrobený kompost používá na své zahradě. Výhodné je pro obce systém domovního a komunitního kompostování propojovat. [23]

Centrální (průmyslové) - centrální kompostování je vcelku náročná činnost, který musí splňovat řadu vodohospodářských a hygienických předpisů a také předpisy odpadového hospodářství. Kompostování je mechanizováno a provádí se na kompostovišti nebo na průmyslové kompostárně na kompostových zákládkách nebo v biofermentorech s použitím jednoúčelových strojů nebo univerzálních mechanizačních prostředků. Centrální kompostování organizují obce a jejich technické služby nebo soukromé podnikatelské subjekty. [24]

2.2.4.3 Výhody a nevýhody kompostování

Mezi hlavní a jedinečné výhody kompostování patří:

- šetrnost k životnímu prostředí;
- ničení všech hnilobných a většiny jedovatých látek během velmi krátké doby;
- klesání objemu odpadu až o 50 %;
- tvoření během kompostování cenných humusových látek, které prospívají půdě, oživují ji, zvyšují odolnost proti chorobám a ničí většinu semen plevelů;

Stejně i jako ostatní metody má tato metoda své nevýhody:

- vznik skleníkového plynu;
- vysoké náklady na dostatek vody;
- záběr potřebné plochy na dlouhou dobu; [8, 25]

2.2.4.4 Anaerobní digesce

Mezi hlavní anaerobními technologiemi zpracování BRO patří anaerobní digesce, kterou je možné dále dělit na:

- anaerobní fermentaci;
- anaerobní stabilizaci;

Samotná anaerobní digesce představuje složitý kontrolovaný mikrobiální rozklad BRO, probíhající na bioplynových stanicích bez přístupu vzduchu za vzniku bioplynu a digestátu. Konečnými výslednými produkty této technologie jsou: [26]

- elektrická energie;
- teplo;
- kompost;

Zpracování anaerobní digestací podléhá zejména separovaný kuchyňský odpad včetně odpadních tuků, zeleninový odpad z tržišť a živností a tráva z údržby veřejné zeleně. Pomocí anaerobní digestce lze také zpracovávat odpady z živočišné a rostlinné výroby, ze stravování, BRKO, fytomasy a čistírny odpadních vod. Ukázka průmyslové anaerobní digestce je znázorněna na obrázku 2-10. [27]



Obr. 2-10 Ukázka průmyslového zpracování BRO anaerobní digestcí

Proces anaerobního rozkladu probíhá působením různých bakterií. Mikrobiologické prostředí daného procesu zahrnuje čtyři hlavní skupiny mikroorganismů:

- hydrolytické bakterie;
- acetogenické bakterie (obligátní a fakultativní anaeroby);
- homoacetogenické bakterie;
- metanogenní;

Na správné činnosti těchto mikroorganismů závisí úspěšný průběh procesu anaerobní digesce. Takže je potřebné zajistit vhodné životní podmínky a těmi jsou:

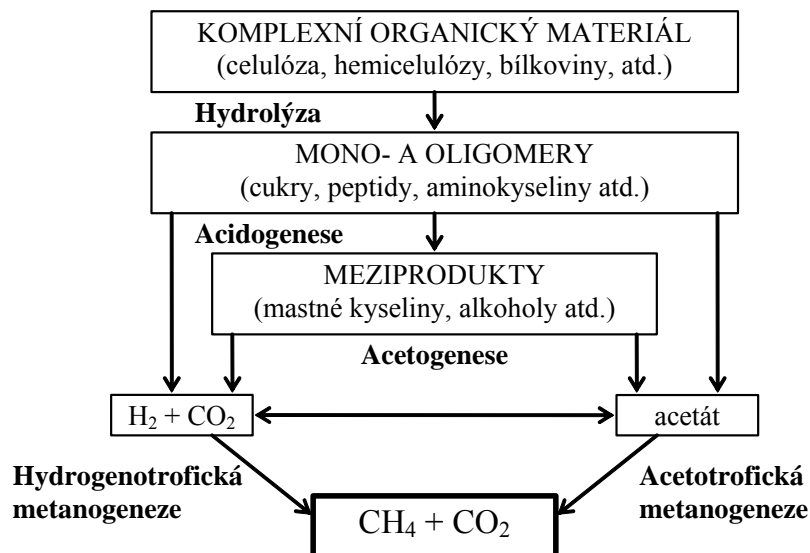
- striktně anaerobní prostředí;
- stálá teplota;
- optimální pH;
- vhodné složení substrátu; [28]

2.2.4.5 Princip činnosti anaerobní digesce

Proces anaerobní digesce probíhá ve čtyřech na sobě závislých základních fázích:

- 1) hydrolýza - štěpení hydrolytickými mikroorganismy makromolekulárních organických látek na menší molekuly;
- 2) acidogeneze - štěpení produktů hydrolýzy na jednodušší látky (alkoholy, kyseliny, CO_2 , H_2);
- 3) acetogeneze - tvorba kyseliny octové, CO_2 a H_2 ;
- 4) methanogeneze - vznik metanu z kyseliny octové;

Samotný průběh čtyřfázové anaerobní digesce je zobrazen na *obrázku 2-11*, který znázorňuje 4 základní fáze, jejich vazby a výsledný vznik produktů.



Obr. 2-11 Průběh čtyřfázové anaerobní digesce [29]

2.2.4.6 Výhody a nevýhody anaerobní digesce

Mezi výhody anaerobní digesce patří:

- snížení znečištění životního prostředí;
- vysoká efektivita nakládání s odpady;
- omezení emisí skleníkových plynů;
- recyklace základních živin pro výživu rostlin;
- možnost výroby energie a minerálních hnojiv;

Nevýhody technologie jsou následující:

- vysoké finanční náklady na technologická zařízení a jeho provoz;
- možnost výskytu nebezpečných plynů (amoniak);
- hluk strojního zařízení;
- náročnost sběru a svozu BRO;
- zápach při nedodržení technologických postupů; [31]

3 KOMPOSTOVÁNÍ

Pro podrobnější popis zpracování BRO byla vybrána jedna z nejvíce šetrných k životnímu prostředí metod – kompostování. V této kapitole bude popsán praktický princip průběhu kompostování, typy kompostáren, kontrola kvality výsledného produktu a uvádění výsledného produktu na trh.

3.1 Proces kompostování

Celý proces kompostování se skládá z následujících bodů:

- přejímka surovin;
- vstupní úprava surovin;
- vlastní proces kompostování;
- výstupní kontrola kvality, uvádění hotového kompostu na trh;

3.1.1 Přejímka surovin

Proces kompostování začíná již ve chvíli přejímky surovin (biologicky rozložitelného odpadu) na kompostárnu.

Podle přílohy č. 2 vyhlášky č. 383/2001Sb. o podrobnostech nakládání s odpady, přejímka surovin (biologicky rozložitelného odpadu) musí být provázena následujícími činnostmi:

1. kontrola dokumentace přejímaných surovin (provádí se v případě jednorázové nebo první dodávky ze řady dodávek v jednom kalendářním roce);
2. vizuální kontrola každé dodávky surovin;
3. namátková kontrola surovin za účelem ověření jeho shody s popisem uvedeným v dokumentech;
4. záznam množství a charakteristik (kód druhu, kategorie, původ apod.) surovin přijatých na kompostárnu;
5. vydání písemného potvrzení o každé dodávce surovin přijatých na kompostárnu; [46]

Při přijetí biologicky rozložitelného odpadu na kompostárnu dodavatel tohoto odpadu musí poskytnout provozovateli kompostárny následující informace a doklady o kvalitě dodávaného odpadu (jedná se o případy jednorázové nebo první z řady dodávek v jednom kalendářním roce):

1. identifikační údaje průvodce odpadu a jeho dodavatele (název, adresa, identifikační číslo bylo-li přiděleno);
2. kód odpadu, jeho kategorie a popis vzniku;
3. předpokládané množství odpadu v dodávce;
4. předpokládaná četnost dodávek shodného odpadu a předpokládané množství odpadu dodaného do kompostárny za rok;
5. protokol o odběru vzorků odpadu;
6. protokol o vlastnostech odpadu ve formě výsledků zkoušek, zaměřených na zjištění podmínek vylučujících odpad z nakládání v příslušném zařízení; [46]

3.1.2 Vstupní úprava surovin

Jak už bylo řečeno v předchozí kapitole - kompostování je aerobní biologický proces rozkladu, během kterého se organická hmota přeměňuje na stabilní humusové látky. Tento proces se liší od analogického procesu přeměny organické hmoty v půdním prostředí. Proces kompostování je výrazně intenzifikován neboli urychlen pomocí určité přípravy surovin (drcení, štěpování), optimalizací surovinové skladby a podmínek průběhu procesu kompostování (teplota, vlhkost, provzdušňování). [32]

Nejprve jsou zde uvedeny možnosti přípravy surovin určených ke zpracování kompostováním. Tyto možnosti přímo souvisí s vývojem speciální kompostovací techniky, která komplexně zahrnuje drticí a štěpkovací zařízení. A během samotného procesu se uplatňují překopávače kompostu.

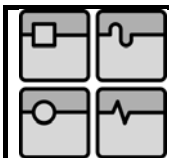
Drtiče a štěpkovače provádějí tzv. dezintegraci suroviny, což je rozdužení na menší částice nebo rozbití fyzikální struktury. Tento krok umožňuje dosažení takřka homogenní hmoty a tím i zvýšení účinnosti a rychlosti průběhu procesu kompostování. Správná dezintegrace vede také ke zvýšení efektivity vložených finančních prostředků. Pomocí drtičů a štěpkovačů je možné dosáhnout různé velikosti částic, která jsou dána charakterem suroviny. Obecně menší částice suroviny tvoří větší oxidační a styčnou plochu, což zvyšuje účinnost průběhu biodegradabilního procesu, avšak menší komponenty většinou vyžadují větší ekonomické náklady na jejich rozmělnění. Většinou u lépe degradujících surovin mohou být částice větší.

Dezintegrace suroviny je energeticky vcelku náročná operace, proto je vhodné ji spojit s jinými operacemi. Například se sklizením rostlin sklízecí řezačkou. Princip je založen na tom, že sklízecí řezačka odděluje sklizenou část rostliny a dopravuje ji do řezacího ústroje, kde probíhá její dezintegrace a doprava vzniklé řezanky do dopravního prostředku. Možné druhy moderních sklízecích řezaček jsou uvedeny na *obrázku 3-1*.



Obr. 3-1 Sklízecí řezačky [33]

Pro tzv. jemnou dezintegraci se používá drtičů nebo štěpkovačů. Štěpkovače představují stroje určené pro dezintegraci rostlinné biomasy na bázi dřevin beztržiskovým dělením pomocí nožů umístěných na rotujících částí. Kvůli možnosti nastavení velikosti výstupných částic toto zařízení umožňuje výrobu štěpky požadované velikosti. Převládající druh namáhání používající ve štěpkovači je stříh. Na *obrázku 3-2* je znázorněno typické provedení dnešních moderních štěpkovačů.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

*Obr. 3-2 Ukázka štěpkovačů [33]*

Drtiče slouží k rozmělnování suroviny a používají se v případě, kdy není požadována přesná velikost výstupních částic a také pro zpracování nesourodeho směsného odpadu. Drtiče kombinují několik druhu namáhání. Převážně převládá náraz, dále pak lom a roztírání. Jemná dezintegrace pomocí tohoto zařízení je většinou řešena jako vícestupňová a umožňuje eliminaci nerovnoměrnosti velikosti výstupních částic. Modely drtiče jsou znázorněny na obrázku 3-3. [33, 35]

*Obr. 3-3 Ukázka mobilních drtičů [33, 35]*

Další nezbytnou kompostovací technikou jsou překopávače kompostu. Překopávače kompostu zajišťují provzdušnění kompostu a tím navozují optimální průběh mikrobiální činnosti. Jejich ukázka je uvedena na *obrázku 3-4*. [34]



Obr. 3-4 Překopávače kompostu [36, 37]

Mimo výše uvedené prostředky se také používají kolové traktory a čelní nakladače, které slouží jako pomocné prostředky k transportování a nakládání surovin. Jejich ukázka je uvedena na *obrázku 3-5*.



Obr. 3-5 Kolový traktor a čelní naběrač [38, 39]

A na *obrázku 3-6* je technický prostředek, spojující funkci traktoru a nakladače.



Obr. 3-6 Kolový traktor s funkcí nakladače [40]

Použití konkrétní kompostovací techniky závisí na typu kompostárny, které budou rozebrány v kapitole „Typy kompostáren“. Následující kapitola bude zaměřena na výstup z kompostovacího procesu – hotový kompost.

3.1.3 Kontrola kvality hotového kompostu

Konečným produktem procesu kompostování je kompost. Jeho použití je stanoveno podle vyhlášky č. 341/2008 Sb. O podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady. A bude tedy určeno v závislosti na skupině a třídě, kam bude zařazen podle kvalitativních znaků (viz. příloha B této práce). Kriteria a požadavky pro hodnocení konečného produktu jsou hlavně limitní koncentrace určitých rizikových látek a prvků, která hotový kompost může obsahovat. Tyto limitní hodnoty jsou uvedeny v *tabulce 3-1*.

Tab. 3-1 Limitní koncentrace rizikových látek v hotovém kompostu (příloha č. 5 k vyhlášce č. 341/2008 Sb.)

Sledovaný ukazatel	Jednotka	Výstupy (skupina 2)			Stabilizovaný biologicky rozložitelný odpad (skupina 3)
		Třída I	Třída II	Třída III	
Arsen (As)	mg/kg sušiny	10	20	30	40
Kadmium (Cd)	mg/kg sušiny	2	3	4	5
Chrom (Cr _{celkový})	mg/kg sušiny	100	250	300	600
Měď (Cu)	mg/kg sušiny	170	400	500	600
Rtuť (Hg)	mg/kg sušiny	1	1,5	2	5
Nikl (Ni)	mg/kg sušiny	65	100	120	150
Olovo (Pb)	mg/kg sušiny	200	300	400	500
Zinek (Zn)	mg/kg sušiny	500	1200	1500	1800
PCB	mg/kg sušiny	0,02	0,2	-	dle způsobu využití
PAU	mg/kg sušiny	3	6	-	dle způsobu využití
Nerozložitelné příměsi >2 mm	% hm.	max. 2% hm.	max. 2% hm.	-	-
AT ₄	mg O ₂ / g sušiny	-	-	-	< 10

Kde: PCB - polychlorované bifenylly;

PAU - polycyklické aromatické uhlovodíky;

AT₄ - Test respirační aktivity, testovací metoda pro hodnocení stability biologicky rozložitelného odpadu na základě měření spotřeby O₂ za 4 dny. Pokud je AT₄ testovaného materiálu nižší než 10 mg O₂/g sušiny není již tento materiál považován za biologicky rozložitelný. [47]

Mimo obsahu rizikových látek se hotový kompost také hodnotí podle znaků jeho jakosti, které jsou uvedeny v *tabulce 3-2*.

Tab. 3-2 Základní znaky kvality kompostu (příloha č. 5 k vyhlášce č. 341/2008 Sb.)

Znaky jakosti	Jednotky	Hodnota znaku jakosti
Vlhkost	% hm.	Od zjištěné hodnoty spalitelných látek do jejího dvojnásobku, min. 40 až 65
Spalitelné látky v sušině vzorku	% hm.	min. 25
Cel. dusík přepočtený na vysuš. vzorek	% hm.	min. 0,6
Poměr C:N*		min. 20 (max. 30)
pH	-	6,0 - 8,5
Nerozložitelné příměsi	% hm.	max. 2,0

Kontroluje se také i účinnost prováděné hygienizace, což je devitalizace patogenních mikroorganismů, prostřednictvím vytváření takového prostředí, ve kterém bakterie nemohou přežít. Takové prostředí se vytváří vysokou teplotou (minimálně 70 °C) a její následním udržováním (minimálně 60 minut). V *tabulce 3-3* jsou uvedeny teploty a doba hygienizace pro různé odpady a technologie jejich kompostování. [48]

Tab. 3-3 Teplotní režimy při hygienizaci kompostování (příloha č. 2 k vyhlášce č. 341/2008 Sb.)

Technologie	Vstupy	Teplota, doba
Malé zařízení	Odpady ze zahrad a zeleně	≥45 °C, 5 dní
Kompostování	Odpady ze zahrad a zeleně, zbytková biomasa ze zemědělství	≥45°C, 10 dní
Kompostování	Biologicky rozložitelné odpady (dle přílohy č. 1 seznam A)	≥55°C, 21dní ≥65 °C, 5 dní
Kompostování v uzavřených prostorách	Biologicky rozložitelné odpady (dle přílohy č. 1, seznam A)	≥65 °C, 5 dní

Kontrola účinnosti hygienizace se ověřuje monitoringem technologických parametrů procesu (například teplotou, vlhkostí, dobou zpracování apod.) a sledováním indikátorových mikroorganismů, které jsou uvedeny v *tabulce 3-4*, při určité četnosti kontrol uvedených v *tabulce 3-5*.

Tab. 3-4 Kriteria pro kontrolu účinnosti hygienizace prováděné na základě sledování indikátorových mikroorganismů (příloha č. 5 k vyhlášce č. 341/2008 Sb.)

Indikátorový mikroorganismus	Výstup	Jednotky	Počet zkoušených vzorků při každé výstupu	Limit (nález/KTJ*)
Salmonella spp.	Rekultivační kompost	nález v 50g	5	Negativní
Termotolerantní koliformní bakterie **	Rekultivační kompost	KTJ v 1 gramu	5	2 3 < 10 ³ < 50
Enterokoky **	Rekultivační kompost	KTJ v 1 gramu	5	2 3 < 10 ³ < 50

Kde: * KTJ - kolonie tvořící jednotky

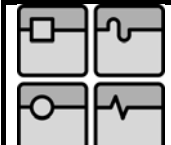
** Z odebraných 5 vzorků musí minimálně stanovený počet vyhovět předepsaným limitům.

Četnost kontrol hotového kompostu se provádí v závislosti na roční produkci kompostu a je uvedena v *tabulce 3-5*.

Tab. 3-5 Četnost kontrol hotového kompostu (příloha č. 5 k vyhlášce č. 341/2008 Sb.)

Roční produkce výstupů	Jednotky	Četnost kontrol výstupů
Do 150 – malé zařízení	t	1 x za rok
0 – 1000	t	2 x za rok
1001 – 5000	t	4 x za rok
5001 a více	t	12 x za rok

Pozn.: *v případě celoročního provozu se kontroly provádějí se stanovenou četností v zimním a letním období [47]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 32
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Kontrola při odbytu kompostu se provádí certifikovanou laboratoří a hotový kompost je nutné registrovat na Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském.

3.1.4 Uvádění kompostu na trh

Aby vyrobený kompost odpovídající stanoveným podmínkám bylo možné uvádět na trh nebo do oběhu, musí být zpracována průvodní dokumentace, obsahující následující informace:

- a) identifikační údaje výrobce a distributora (název a sídlo nebo jméno a přímení, bydliště a místo podnikání, liší-li se od bydliště);
- b) název výstupu (kompost), jeho zařazení do příslušné skupiny podle přílohy B;
- c) datum výroby, balení a expedice kompostu;
- d) vlastnosti kompostu – výsledky zkoušek sledovaných ukazatelů kompostu (viz. příloha č. 3) a další údaje o jeho složení;
- e) návod k použití kompostu (označení třídy a skupiny, k nimž kompost patří, způsob jeho aplikace, doporučené dávkování, apod.);
- f) způsob balení kompostu (údaje o jeho množství v obalu, například jeho objem, hmotnost, počet obalů v případě skupinového obalu);
- g) předpokládané místo použití kompostu;
- h) doba použitelnosti a doporučený způsob skládkování kompostu;
- i) způsob distribuce kompostu;
- j) vliv kompostu na jiné výrobky; [47]

3.2 Typy kompostáren

Postupem času se zpracování biologicky rozložitelného odpadu pomocí kompostování rozdělila na několik typů základních druhů. Jednotlivé typy kompostáren se liší samotnou technologií ale i samotnými rozměry a objemem zpracovávaného materiálu.

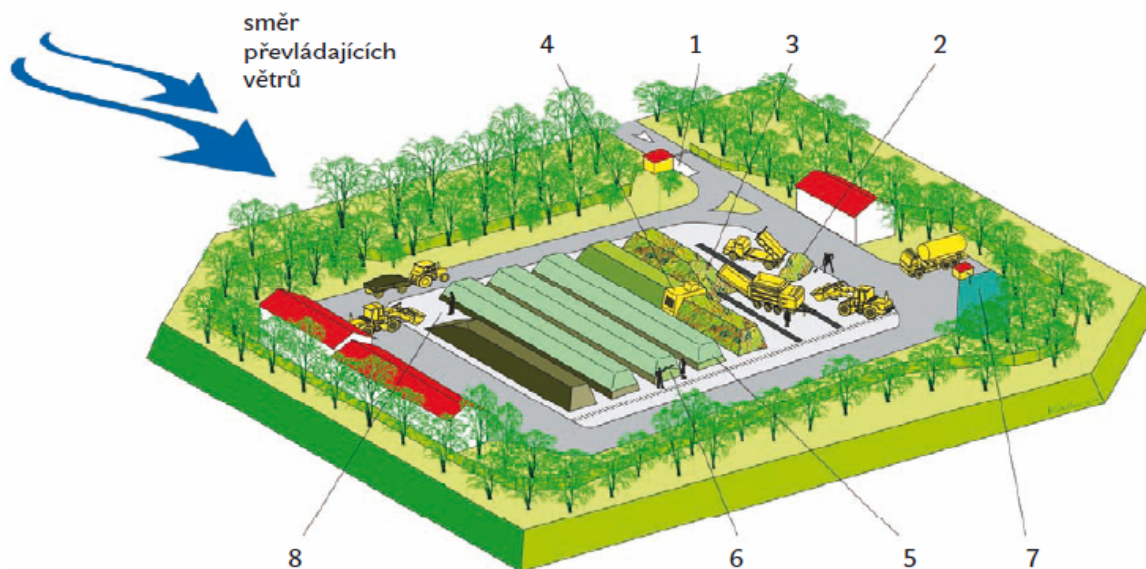
3.2.1 Kompostování v pásových hromadách

Klasickou a nejčastěji používanou technologií kompostování je kompostování v pásových hromadách. Kompostárna je zpravidla umístěná na volné, zpevněné a vodohospodářsky zabezpečené ploše. K vybudování takové plochy neexistují žádná pravidla, ale každé z takových ploch musí splňovat následující podmínky:

- zabezpečení volného přístupu techniky k zpracovávaným surovinám;
- vyloučení kontaktu zpracovávaných surovin s podzemními a povrchovými vodami a okolní půdou;
- spád kompostovací plochy minimálně 2 %;
- zabezpečení odvodu srážkových vod s kompostárny do speciálních jímek odpovídající kapacity; [41]

Kompostování v pásových hromadách umožňuje zpracovávat chlévskou mrvu, koňský hnůj, dřevní štěpky a piliny, stařinu, nekvalitní seno a slámu atd.

Na kompostárně tyto bioodpady jsou nejprve vážené na mostové váze (1). Poté se odpad převáží, drtí se nebo dále upravuje pomocí příslušné techniky (2) a obvykle pomocí čelního nakladače se formují do podélné hromady (3). Provzdušňování se zabezpečuje překopávačem (4). Během procesu kompostování se hromady přikrývají kompostovací plachtou (5), aby nedocházelo ke zbytečnému vysychání a splachování rozpustitelného obsahu dešťovými srážkami. Periodicky se měří teplota kompostu. Každá kompostárna s vodohospodářskou zabezpečenou plochou musí mít vodní jámku (7), do které stéká přebytečná voda, případně přebytky vody po čistících procesech. Hotový kompost může být dále ještě zpracován, například proséváním nebo balením. Ale nejčastěji je expedován v hrubém stavu (8). Na *obrázku 3-7* je schéma kompostárny s využitím technologii kompostování v pásových hromadách.



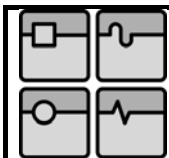
Obr. 3-7 Kompostování v pásových hromadách [32]

Tento typ kompostárny je většinou vybaven následující technikou a zařízením:

- kolový traktor;
- čelní nakladač;
- překopávač kompostu;
- drtič nebo štěpkovač;
- dávkovací zařízení kapalin;
- teploměr;
- kompostovací plachty;

Výhody tohoto typu kompostování jsou:

- jednoduchost procesu při dodržení základních pravidel kompostování;



- dobrý hygienizační účinek;
- relativně nízké provozní náklady (kolem 1000 až 3500 Kč na 1 tunu instalované kapacity zařízení za rok); [32, 42]

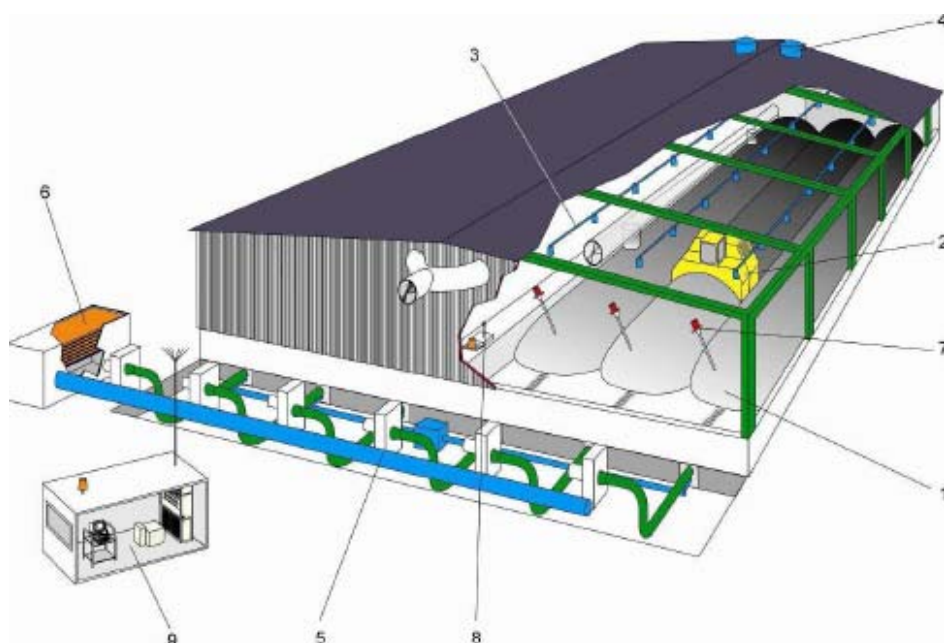
Bohužel tento typ má jednu značnou nevýhodu. Stavba vodohospodářsky zabezpečené plochy je docela nákladná – 800 až 2000 Kč za m², proto je zpravidla výhodnější používat už zabezpečené plochy, například úhelné sklady, sklady hnojiv a zemědělská složiště apod. Běžná stálá kompostárna tohoto typu umožňuje roční produkci kompostu víc než 500 tun ročně [41, 43]

3.2.2 Kompostování v pásových hromadách na zastřešené ploše

Druhý typ kompostování, který využívá vodohospodářsky zabezpečenou plochu je také kompostování v pásových hromadách, ale základem této stálé kompostárny je zastřešená plocha - hala. Kompostování probíhá v uzavřeném prostoru, který tvoří betonová podlaha s určitým spádem mezi jednotlivými hromadami. Zabrání se tak smísení kompostovaných šťáv.

Základními surovinami pro skladbu kompostu v tomto případě slouží převážně travní hmota různé kvality a separovaná kejda skotu, které je do kompostu přidávána pro zabezpečení vhodného poměru C:N. V malém množství se také může doplňovat sláma a kukuřičná siláž.

Schéma zastřešené kompostárny je uvedeno na *obrázku 3-8*. Klasická zastřešená kompostárna zahrnuje pásovou hromadu (1), kde probíhá překopávání pomocí techniky (2), vlhčení (3) a měření teploty (7). Pro odvětrávání je hala vybavena větrací šachtou (4) a vzduchotechnickými rozvody (5). Pro větší zařízení je také využíván biofiltr (6) a přístroj na měření obsahu vzdušného kyslíku (8). Poslední částí stavby je velín s administrativním prostorem (9).



Obr. 3-8 Kompostování v pásových hromadách na zastřešené ploše [42]

Tento typ kompostárny je zpravidla vybaven následujícím zařízením:

- kolový traktor s plazivou rychlostí;
- separátor kejdy;
- traktorový překopávač kompostu;
- manipulátor;
- rotační síto;
- čelní nakládač;
- teploměr;

Kvůli uzavřenému prostoru je zastřešená kompostárna ideálním řešením pro celoroční provoz, i když zpravidla produkce vstupních surovin je spíše sezónní záležitostí. [41, 42]

3.2.3 Kompostování ve vacích

Třetí druh kompostárny pro kompostování pásové hromady je kompostárna využívající kompostovací vaky. Proces kompostování probíhá v pásových hromadách, umístěných v uzavřených PE-vacích, díky čemuž plocha pod vaky nemusí být vodohospodářsky zabezpečená, ale pouze pevná volná plocha s únosností kolem šest tun na čtverečný metr. Bohužel plocha, kde probíhá příjem, třídění, úprava (homogenizace, promíchávání) a případně skladování dovezených BRO před jejich zakládáním do vaků, musí být vodohospodářsky zabezpečená. Kompostování v komponovacích vacích se skládá z následujících kroků:

- příjem surovin;
- založení surovin do vaků;
- kompostování;
- případně další zpracování hotového kompostu (prosévání, balení) a jeho expedice;

Surovinami pro kompostování ve vacích je převážně listí, dřevní štěpka, posečená tráva apod. Při přípravě suroviny k naplnění vaků musí být věnována zvýšená pozornost receptuře surovinové zakládky, homogenitě a teplotě surovin a také poměru C:N, protože po uzavření vaků už není možné surovinovou zakládku měnit. Suroviny zůstanou ve vacích na dobu veškerého komponovacího cyklu, což je kolem 6 až 8 týdnů.

Před uložením na hromadu se suroviny míchají a homogenizují se. Poté speciální stroj (viz. *Obrázek 3-9*), který je vybavený speciální vahou, podle hmotnosti naplňuje zpracovanými surovinami kompostovací vaky. Tyto vaky se ukládají na zpevněnou kompostovací plochu. Překopávání surovin během kompostování neprobíhá, proto se potřebná aerace zajišťuje pomocí PE-hadice, která se vkládá do vaků současně se surovinami. Podle výsledků kontinuálního monitorování teploty surovin se vzduch hadicí rovnoměrně přivádí do vaků. Hotový kompost se vyjímá z rozříznutých vaků, případně se zpracovává a expeduje se. [44]

Kompostovací linka tohoto druhu kompostárny se skládá z následující techniky:

- kompostovací vak s kapacitou 80 až 175 tun;
- kolový nakladač;
- kolový traktor s plazivou rychlostí;
- šnekový lis (plnicí stroj);
- systém pro provzdušňování (PE-hadice, ventilátor se řídicí jednotkou);
- zapichovací snímač teplot s bezdrátovým přenosem naměřených hodnot;
- elektronická váha;
- jímka s vodou;



Obr. 3-9 Speciální stroj pro naplňování kompostovacích vaků [45]

Kompostování v uzavřených vacích má samozřejmě své výhody, ale i nevýhody. Hlavní výhodou je úspora vodohospodářsky zabezpečené plochy, protože zde je potřebná jenom pro oblast určenou k příjmu, třídění, úpravě a skladování surovin. Nevýhoda je v tom, že vaky mohou být použity pouze jednou, takže se musí řešit otázka jejich recyklace. [44]

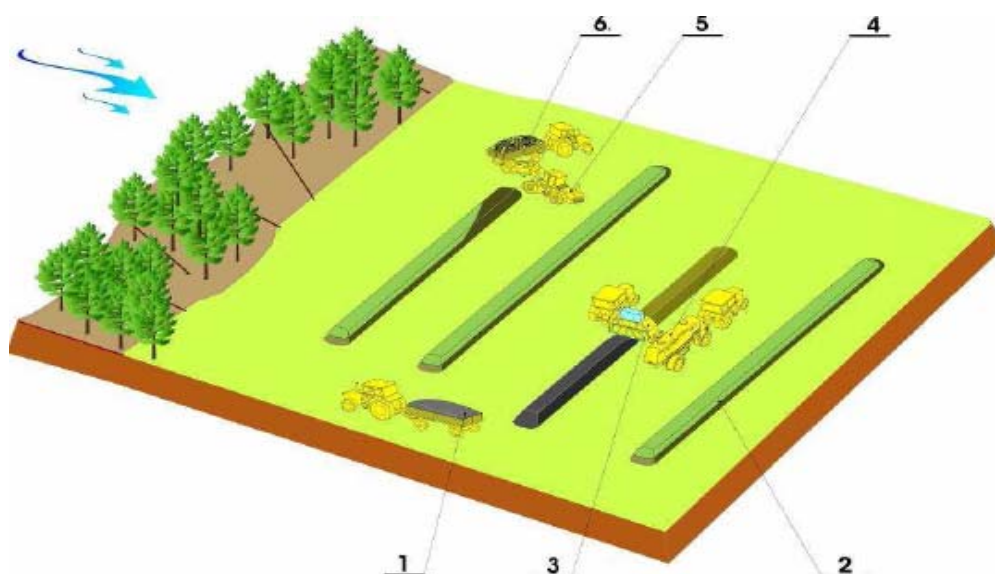
3.2.4 Kompostování přímo „na poli“

Další vcelku běžně používaným typem kompostárny jsou kompostárny umístěné přímo na polích. Od výše uvedeného typu se tato technologie kompostování liší tím, že se biomasa zpracovává přímo v místě svého vzniku (přímo na poli), anebo v jeho blízkosti (na jiném pozemku).

První typ se jmenuje „Kompostování přímo na poli“ a představuje zpracování biomasy na místě jejího vzniku. Plocha, na které se kompostování provádí, je dočasná a není vodohospodářsky zabezpečená. Podle vodního zákona to znamená, že musejí být přijata příslušná opatření proti znečištění povrchových a podzemních vod závadnými látkami.

Podle zákona č. 103/2003 Sb. §9 je umístění hnoje a podobných látek, mezi které se počítá i kompost, v zranitelných oblastech po maximální dobu 9 měsíců s opakovaným umístěním na stejném místě nejdříve po čtyřech letech rekultivace půdy. Vše musí proběhnout s vyloučením znečištění nebo ohrožení jakosti povrchových nebo podzemních vod. Mimo zranitelných oblastí doba uložení těchto látek až 3 roky.

Struktura kompostovací plochy je znázorněna na *obrázku 3-10*. Postup procesu kompostování je takřka stejný jako u předešlého typu a skládá se z následujících kroků. Nejprve je třeba dovézt suroviny (jestli kompostování neprobíhá v místě vzniku bioodpadu, ale na jiném pozemku v jeho blízkosti) (1). Tato surovina se poté ukládá do pásových hromad přikrytých kompostovací plachtou (2), které jsou vybavené překopávačem kompostu (3) a systémem dávkování kapalin (4). Hotový kompost se odváží (6). [42]

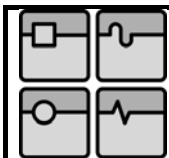


Obr. 3-10 Princip kompostování přímo „na poli“ [42]

Tento typ kompostárny pro svoji činnost potřebuje následující technické vybavení:

- traktor s plazivou rychostí;
- traktorový nakladač;
- vůz pro aplikaci kejdy;
- traktorový překopávač;
- rozmetadlo hnoje;
- dávkovač kapalin;
- kompostovací plachty;

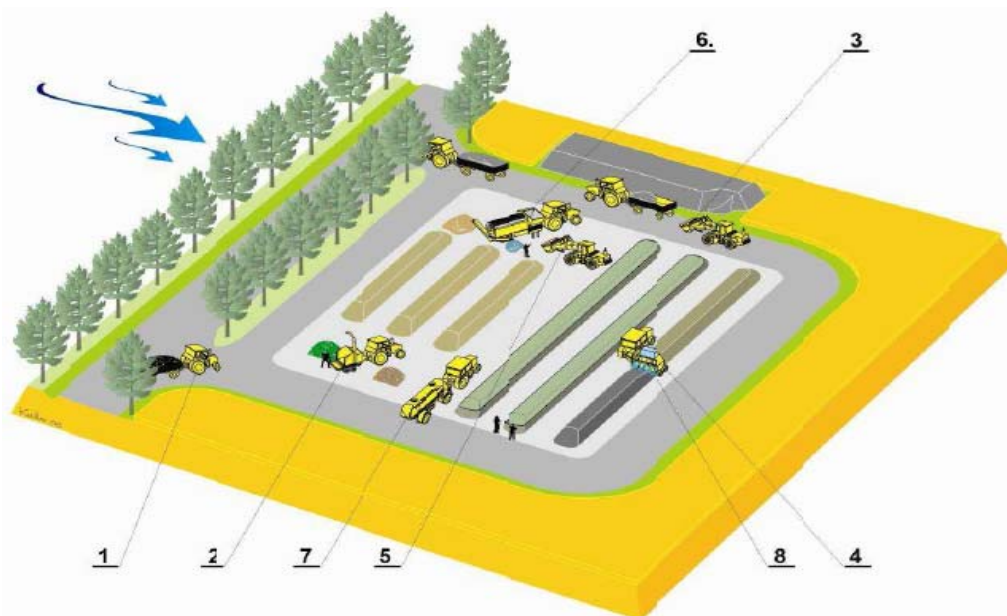
Tyto kompostárny většinou zpracovávají přebytečnou travní masu z údržby trvalých travních porostů, ale do základky se může přidat také chlévská mrva, kejda skotu nebo nekvalitní seno.



3.2.5 Polní kompostování

Druhý typem kompostování na polích je tzv. „polní kompostování“. Na rozdíl od předchozího typu kompostování přímo „na poli“ proces kompostování tohoto typu probíhá na zpevněné ploše v blízkosti místa vzniku odpadní masy. Tato kompostovací plocha stejně jako u předchozího typu je využívána pouze dočasně a není vodohospodářsky zabezpečená, ale podle vodního zákona musí respektovat podmínky pro ochranu povrchových a podzemních vod. K tomuto typu patří i kompostování na nezpevněné ploše, kterou může být louka nebo pozemek. V těchto případech se po zpevněné ploše (komunikaci nebo polní cestě) pohybuje pouze používaná technika (traktor, nakladač nebo překopávač kompostu). Schéma kompostovací plochy je znázorněno na *obrázku 3-11*.



Potřebné suroviny se dovážejí z místa jejich vzniku (1), následně se drtí (2) a ukládají se do hromad (3). Během procesu kompostování se pravidelně provádí překopávání kompostu (4). Manipulace se zralým kompostem (5) a jeho prosévání (6) se provádí již jako finální úprava. Ke kompostárně se musí dovážet voda (7), která se dávákuje na kompost přes speciální dávkovač kapalin (8).



Obr. 3-11 Polní kompostování [42]

Příslušné technické vybavení polní kompostárny tvoří:

- traktor s plazivou rychlostí
- traktorový nakladač
- traktorový drtič
- traktorový překopávač kompostu
- vůz pro aplikaci kejdy
- rozmetadlo hnoje
- dávkovač kapalin
- kompostovací plachty

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Roční produkce kompostu tohoto typu kompostárny je zpravidla do 500 tun. [43]

3.2.6 Malá zařízení

Jako samostatnou technologii kompostování bioodpadů je možné uvést jako tzv. malá zařízení. Představují malou kompostárnu s roční kapacitou rostlinných odpadů 150 tun bez nutnosti vodohospodářského zabezpečení kompostovací plochy. Provoz daného druhu kompostárny se realizuje na základě řešení obecního úřadu obce.

Kompostování probíhá buď v otevřených pásových hromadách nebo v uzavřených aerovaných boxech, ale druhý typ je značně nákladnější. Technické vybavení kompostárny se většinou řeší pomocí jednoduché mechanizace a svépomocí, což výrazně snižuje náklady na její provoz.

Tento druh kompostování zajišťuje obcím nezávislost ve zpracovávání bioodpadů z údržby soukromé a veřejné zeleně, sportovišť a hřišť obce. Zákon ukládá povinnost přijímat vstupní suroviny do procesu pouze z blízkého okolí (města, veřejné zeleně v okolí, zahrádky,...), ale v poslední době je tento typ kompostárny „zneužíván“ soukromými subjekty za účelem snadného podnikání, protože o zřízení kompostárny rozhoduje pouze obec a další povolení nejsou potřebná. [32]

4 ČINNOST SPOLEČNOSTI VIA ALTA V OBLASTI KOMPOSTOVÁNÍ BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÉHO ODPADU

4.1 Popis společnosti VIA ALTA

Akciová společnost VIA ALTA je česká projektově-inženýrská společnost, vzniklá v roce 2003 v důsledku fúzí společností EURONEST s.r.o., zabývající se dotačním managementem a vzděláváním, inženýrské společnosti VIA ALTA a.s. a EST Software s.r.o., vyvíjející software, kdy zahájila činnost v oblasti dotačního managementu a implementací systémů řízení jakosti.

Společnost poskytuje komplexní projekční, dodavatelskou a technicko-inženýrskou podporu v přípravě a realizaci investičních akcí, expertní, inovační, výzkumné a poradenské činnosti, koordinace BOZP, technický dozor a celkové řízení projektů. Používá při tom efektivní a nejmodernější technologie a nástroje projektového řízení. Kromě toho provádí komplexní zpracovávání a řízení projektů pro čerpání finančních prostředků z různých zdrojů a také dotační management. Je také významná jako společnost, zabývající se vzděláváním a zaváděním systémů řízení podle ISO, OHSAS atd. Je sama certifikována podle ISO 9001, ISO 14001 a ISO 10006, je držitelem akreditací MŠMT pro provádění rekvalifikací, prověrky NBÚ pro stupeň „Vyhrazené“, certifikátu školicího a testovacího střediska ECDL a pověření MV ČR pro vzdělávání ve veřejné správě.

Společnost VIA ALTA poskytuje následující služby:

- studie, analýzy, expertní činnost;
- komplexní a projektové řízení;
- dotace a EU fondy;
- projekční a inženýrská činnost;
- biologicky rozložitelné odpady;
- technický dozor investora;
- energetický audit;
- systémy řízení;
- speciální mezinárodní projekty;
- vzdělávání a rekvalifikace; [46]

4.2 Popis kompostárny provozované společností VIA ALTA a.s.

Společnost VIA ALTA provozuje kompostárnu v Blansku, která je uvedena do provozu od dubna roku 2012. Jedná se o zastřešenou kompostárnu, používající ke kompostování pásové hromady.

Popis kompostárny se skládá z několika následujících bodů:

- přejímka odpadů na kompostárnu;
- popis provozní haly a venkovních ploch;

- podrobné technické vybavení kompostárny;
- popis pracovních, ekologických a bezpečnostních postupů;

4.2.1 Přejímka odpadů na kompostárnu

Tato kompostárna slouží ke kompostování biologicky rozložitelných odpadů, které jsou uvedeny v *tabulce 4-1*.

Tab. 4-2 Přehled zpracovatelných odpadů

Katalogové číslo (viz. příloha A - Katalog odpadu)	Název odpadu
02 01 03	Odpad rostlinných pletiv (tráva, listí, větve a další rostlinný odpad od jiných původců než je město)
02 03 04	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování (odpad ovoce a zeleniny např. ze supermarketů)
02 03 05	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku (odpady z výroby a zpracování ovoce, zeleniny, obilovin apod.)
02 06 01	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování (odpad z pekáren a výroby cukrovinek)
02 07 02	Odpad z destilace lihovin (výpalky)
02 07 04	Suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování (odpad z výroby nápojů)
02 07 05	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku (odpady z výroby alkoholických a nealkoholických nápojů)
02 01 07	Odpad s lesnictví (dřevní štěpka z lesních prací)
03 01 01	Odpadní kůra a korek (odpady ze zpracování dřeva)
19 08 05	Kaly z čištění komunálních odpadních vod (mimo kalu ze septiků a žumpu)
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad (např. odpad ze zahrad a parků)

Žádné biopreparáty a biostimulátory se při kompostování nepoužívají. U výše uvedených odpadů se při přijímání na kompostárnu kontrolují následující kvalitativní parametry:

- množství dusíku a organické hmoty;
- vlhkost;
- přítomnost příměsí nebezpečných látek, PCB (polychlorované bifenylly), ropné produkty, pesticidy;
- přítomnost příměsí skla, velkých kamenů, plastické hmoty, kovů;

Kromě toho, u odpadů skupiny 19 08 05 se v případě jednorázové nebo první z řady dodávek v jednom kalendářním roce budou požadovat protokoly o odběru vzorků a protokoly o výsledcích zkoušek na obsah těžkých kovů (As, Cr_{celkový}, PCB (polychlorované bifenylly), PAU (polycyklické aromatické uhlovodíky), Ar, Cr, Ni, Cd, Cu, Pb, Hg, Zn).

Pro skupiny odpadů 02 03 04, 02 03 05, 02 06 01, 02 07 02, 02 07 04 a 02 07 05 v případě jednorázové nebo první z řady dodávek v jednom kalendářním roce bude požadováno dodání protokolů o odběru vzorků a protokol o výsledcích zkoušek na obsah sušiny, organických látek a dusíku. Případně další ukazatele - například pH.

4.2.2 Popis provozní haly a přilehlých venkovních ploch

Vlastní kompostárna představuje nepodsklepenou přizemní ocelovou halu s kombinovaným opláštěním a se sedlovou střechou. Pohotovostní sociální zařízení se skládá ze vstupu, místnosti pro ovládání technologie linky, sprchy a WC s umyvadlem.

Provozní hala zrealizovaná pro zařízení a manipulační prostory. Má půdorysné rozměry 17,19 × 40,69 m. Konstrukce stěn a střechy je ocelová, s vhodnou ochranou, a je doplněna zdíci materiály. Opláštění je z průsvitných plastových materiálů. Tato vzdušná provozní hala slouží hlavně jako ochrana technologie a připravované zakládky pro kompostování před povětrnostními vlivy, čímž je zajištěna možnost dokonalého řízení provozu biologického rychlokompostování.

Venkovní asfaltová plocha se skládá z části příjmové o rozměrech 10 × 18 m, která se používá jako manipulační plocha na složení přijímaného odpadu a krátkodobého skladování. Druhá plocha umístěná na opačné straně výrobní haly vyskladňovacího prostoru je o rozměrem 18 × 20 m a je určena převážně na uložení kompostu a k jeho dozrání. Prostor pro skladování odpadu (příjmový i skladovací) s neodkanalizovanými jímkami o objemech 3 a 4 m³ je vodohospodářsky zabezpečen.

Uvnitř haly se mezi homogenizátorem a dávkovacím strojem nachází manipulační prostor, ve kterém se s jednodenním předstihem před zakládáním do žlabů připraví část směsi pro kompostování. Tím se zvýší rychlost vsázky.

Ve spádované podlaze uprostřed každého žlabu je umístěna neodkanalizovaná, záchytná jímka s objemem 170 litrů. Táto jímka slouží k zachycení případných úkapů z převlhčené směsi, vznikajících kvůli nedodržení technologie. Odčerpání kapaliny se provádí kalovým ponorným čerpadlem, které je součástí vybavení provozu.

4.2.3 Technické vybavení kompostárny

Veškeré vybavení kompostárny (viz. *obrázek 4-1*) je možné rozdělit na 4 skupiny. A veškerý popis včetně číselného značení v závorkách se k tomuto obrázku váže.


4.2.3.1 Hlavní technologické zařízení

Fermentační žlaby – 2 prostory o půdorysu 15 × 4 m s objemem po 120 m³ (50 tun materiálu), které tvoří základní prostor pro probíhání aerobního procesu (10).

4.2.3.2 Dopravní zařízení pro dopravu kompostovaného materiálu

Dopravník pásový k homogenizačnímu a dávkovacímu zařízení (3).

Reverzní naskladňovací dopravník směsi vstupních materiálů ke spodním příčným dopravníkům ke šnekovým míchačkám (4).

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 43
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Spodní příčné pásové dopravníky pro přesun materiálu od reverzního naskladňovacího dopravníku dávkovacího stolu a ze středových reverzních podžlabových dopravníků ke dvojitým šnekovým míchačkám (2 × 4 m) (5).

Šikmý boční pásové dopravníky od dvojitě míchačky do prostoru příčných dopravníků horního patra (7).

Příčné pásové dopravníky pro přesun materiálu do naskladňovacího zařízení žlabů (8).

Naskladňovací zařízení jednotlivých žlabů tvoří pásový dopravník s kolejovým vedením pro shrnovací šnekový vozík a posuvné reverzní zařízení shrnovacího vozíku (9).

4.2.3.3 Manipulační zařízení pro manipulaci s kompostujícím materiálem

Vyskladňovací pásové dopravníky od středních podžlabových reverzních dopravníků (14).

Střední podžlabové reverzní pásové dopravníky od vybíracích fréz k překopu nebo vyskladňování (11).

Vybírací frézy fermentačních žlabů - šnekové hřídele se speciálními pravolevými segmenty pro vybírání a posun kompostované směsi na středový vynášecí reverzní dopravník s reverzním – oboustranným automatickým posuvem pro překop nebo vyskladňování surovin (12).

Homogenizátor materiálů pro kompostování – mělníci a míchací mobilní příjmové zařízení (1).

Dávkovací stroj – rozmělnovací a dávkovací vstupní zařízení směsi materiálů pro kompostování (2).

Dvojitě šnekové míchačky pro homogenizaci smíchaného kompostovaného materiálu s přidávaným tekutým kalem a též překopávaného materiálu z již probíhajícího procesu kompostování (6).

4.2.3.4 Pomocné zařízení, zajišťující funkci hlavního

Kalové čerpadlo v zásobní nádrži s nízkotlakým rozvodem kalu do prostoru vstupu dvojitě šnekové míchačky každého žlabu a homogenizátoru (15).

Mobilní nápravová váha, umístěná na příjezdové komunikaci kompostárny (17).

Kabelové vedení s pojezdovými kladkami je pomocné zařízení pro uchycení a oboustranný reverzní posuv a skládání elektrických kabelů k příslušným elektromotorům vybíracích fréz a naskladňování (13).

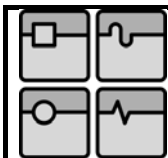
Hlavní rozvodna elektrického proudu s ovládacími a kontrolními elementy technologického zařízení kompostárny (16).

Jímka 3 m³ (před vstupem do zařízení) (19).

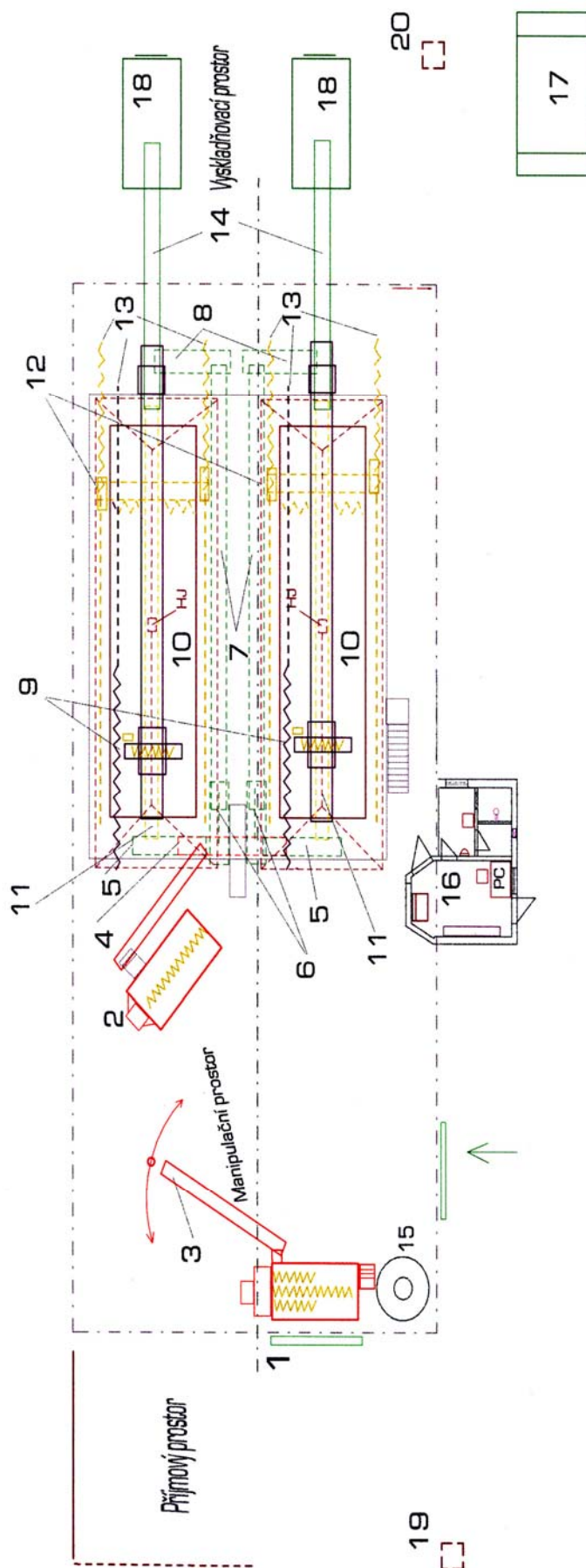
Jímka 4 m³ (na výstupu ze zařízení) (20).

Ocelové kontejnery pro dopravu kompostu (18).

Skladovací prostředky řeší odpady do 10% sušiny, které jsou přijímány do manipulačního zásobníku v hale a následně jsou kompostovány. Odpady s vyšší sušinou jsou dle potřeby přijímány na venkovní manipulační ploše a postupně kompostovány, zpravidla jsou uchopeny nakladačem a vloženy do homogenizátoru.



DIPLOMOVÁ PRÁCE



Obr. 4-1 Technické vybavení

Dále do vybavení většiny kompostáren patří ještě drtič, štěpkovač pro dezintegraci vstupních surovin a traktor s čelním nakládačem pro manipulaci se vstupními surovinami.

4.2.4 Popis pracovního postupu kompostování

Používaný pracovní postup kompostování zahrnuje následující činnosti:

1. sestavení směsi vstupních surovin;
2. smyslové posouzení komponentů;
3. plnění směšovacího a homogenizačního zařízení;
4. smyslové posouzení směsí v zařízení;
5. plnění fermentačního žlabu;
6. homogenizační překopávání a zpřesnění skladby podle smyslového posouzení;
7. překopávání se řídí teplotou zakládky, je nutné dodržet teplotu $\geq 65^{\circ}\text{C}$ po dobu 5 dnů;
8. vyskladnění směsi na vodohospodářsky zabezpečenou manipulační plochu, celková délka pracovního cyklu – naskladnění, překopání, vyskladnění bude cca 10 až 15 dnů;
9. dozrávání;

4.2.5 Vlastní technologický postup

Technologický postup sestává ze čtyř základních cyklů – naskladňování, překopávání, vyskladňování, dozrávání. Dále je uveden podrobný popis každého cyklu.

4.2.5.1 Naskladňování

Při naskladnění je kompostovaný materiál dopraven nakládací technikou do zásobníku homogenizátoru, odkud je přes dopravník krátkodobě ukládán do manipulačního prostoru haly. Poté je nakládacím mechanismem dopravován do dávkovacího stolu, dále pásovým dopravníkem do šnekové míchačky, kde se znovu homogenizuje a provzdušňuje. Zde jsou pak doplňovány tekuté složky. Dopravníky s naskladňovacím šnekovým zařízením se postupně uloží do fermentačního žlabu (cca 30 tun). Výška naskladněné hmoty může dosahovat až 2 m a je přísně hlídána obsluhou. Teplota založené kompostované směsi se měří dvěma tepelnými čidly zabudovanými v každém žlabu s odečtem na ovládacím panelu.

4.2.5.2 Překopávání

Překopání řeší pojízdné frézovací zařízení uvnitř fermentačního žlabu. Při dosažení teploty materiálu 65°C se ručně sepnou elektromotory spodní vybírací frézy, příslušných pásových dopravníků a šnekové míchačky. A v případě potřeby dávkovacího čerpadla tekuté složky a plnicího pásového dopravníku se shrnovacím vozíkem, čímž dojde k provzdušnění a promíchání materiálu a odpaření vody. Základním parametrem kontroly procesu kompostování je teplota – její průběh od

začátku do konce kompostovacího procesu. Podle přílohy B k vyhlášce č. 341/2008 Sb. Zakládka kompostu z biologicky rozložitelného odpadu při kompostování v uzavřených prostorách musí během kompostovacího procesu projít teplotami minimálně 65 °C po dobu 5 dní, tyto hodnoty jsou uvedené v *Tabulce 3-3*. Fermentace naskladněné hmoty je pak ukončena při poklesu teploty pod 40 °C.

4.2.5.3 Vyskladňování

Vyskladnění se provádí překopávací frézou s vyskladňovacím dopravníkem v reverzním chodu a vynášecím dopravníkem. Tím se uvolní prostor pro další cyklus zpracování.

4.2.5.4 Dozrávání

Dozrávání po zajištěné hygienizaci ve fermentačním žlabu probíhá na dozrávací ploše za halou kompostárny cca 50 dnů, což znamená, že celková doba procesu po homogenizaci je 60 dnů, což splňuje požadavky dle přílohy č. 2 písm. C písm. d) vyhlášky MŽP č. 341/2008 Sb.

Konečným produktem procesu kompostování bude kompost, který podle vyhlášky č. 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady, po registraci na hnojivo bude používán ke hnojení zemědělských a nezemědělských pozemků. Kompost také bude možné použít jako rekultivační materiál zlepšující kvalitu půdy mimo zemědělskou a lesnickou půdu.

Limitní hodnoty rizikových prvků vychází z požadavků přílohy 1 vyhlášky č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů. Limitní hodnoty rizikových prvků v hnojivech pro organická a statková hnojiva se sušinou nad 13% a jsou zapsána v *tabulce 4-2*.

Tab. 4-2 Limitní hodnoty rizikových prvků v hnojivech

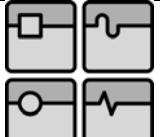
mg/kg sušiny								
Cd	Pb	Hg	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
2	100	1	20	100	150	20	50	600

V provozu je kompostu podle požadavků vyhlášky 341/2008 Sb. přidělena skupina 2 a podle kvality zařazen do příslušné třídy (viz. příloha B).

Podle vyhlášky č. 341/2008 Sb., O podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady, hotový kompost musí být zkontrolován prováděním chemických testů v režimu 4x za rok a mikrobiálních testů u zakládek z odpadů 02 01 06 a 19 08 05 v režimu 4x za rok, přesně tak, jak určuje *tabulka 3-5*.

4.2.6 Řízení obsahu produktů nacházejících se v surovinách

Průběh procesu kompostování ovlivňuje obsah produktů, které se nacházejí ve výsledném produktu, ale jejich původ je v surovinách pro kompost. Mezi hlavní ovlivnitelné složky patří následující tři:

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 47
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4.2.6.1 Nežádoucí příměsi

Nežádoucí příměsi obsahují převážně dovážené suroviny, které se dávají do kompostu. Mohou tvořit maximálně 0,1 % jejich hmotnosti. Jedná se o následující druhy odpadů: papír a lepenka, železné kovy, neželezné kovy, plasty a kaučuk, sklo, textil, nerosty (kameny, písek apod.) a jiné příměsi z mechanické úpravy odpadů. Tyto odpady ještě před vlastním procesem kompostování musí být vytríděné ze surovin a uloženy do speciálních sběrných nádob, umístěných v areálu kompostárny. Nakládá se s těmito odpady podle požadavků zákona o odpadech.

4.2.6.2 Odpadní vody

Odpadní vody jsou převážně z ploch určených pro kompostování a manipulaci se surovinami a kompostem. Musejí se odvádět do speciálních neodkanalizovaných sběrných jímek. Z těchto jímek se odpadní vody přečerpávají do technologické nádrže uvnitř haly a následně se používají ke zvlhčování kompostu. Přebytkové odpadní vody se odvázejí do čistírny odpadních vod.

4.2.6.3 Emise do ovzduší

Emise do ovzduší, jako například amoniak a pachové látky, se vylučují do ovzduší především při příjmu suroviny. Zpravidla jsou eliminovány na minimum rychlým založením do zakládek, správným namícháním a zahájením kompostovacího procesu.

4.2.7 Energetická náročnost procesu

Energetická náročnost na výrobu 1 tuny kompostu je cca 20 kWh elektrické energie. Při celkové ztrátě organické hmoty cca 30 až 35% je to cca 13 kWh elektrické energie na 1 tunu přijímaných odpadů.

4.2.8 Opatření k omezení negativních vlivů kompostárny pro případ havárie

Celý proces výroby kompostu je veden tak, aby možný vliv kompostárny na okolní prostředí byl co nejmenší. S ohledem na intenzivní průběh technologie a druhy kompostovaných bioodpadů se nepředpokládá možnost vzniku havárie. Výjimku tvoří případný malý únik ropných produktů.

4.2.9 Zabezpečení ochrany kompostárny

Ochrana monitorovaného prostředí v místě nakládání s odpady je celá plocha kompostárny, která je zpevněna pro příjezd dopravní a nakládací techniky. Takže manipulace s odpady probíhá na vodohospodářsky zabezpečené trvale monitorované ploše. Plocha kompostárny je zabezpečena proti případné havárii s následkem úniku ropných produktů.

Ochrana kompostárny proti vniknutí nepovolaných osob je řešena tím, že celý objekt kompostárny je oplocen, hala je v nepřítomnosti dozoru uzamčena a je instalován kamerový systém s hlášením na Městskou policii.

4.3 Povinnosti kompostárny

Mezi povinnostmi obsluhy kompostárny patří následující činnosti:

- zajištění pořádku na příjezdových komunikacích a v areálu kompostárny;
- umožnění orgánům kontroly vstup do zařízení kompostárny, po prokázání se služebním průkazem;
- kontrola dokladů (dodacích listů původce odpadu);
- přejímka odpadu pouze na základě základního popisu odpadu dle přílohy č. 2, bodu 2 k vyhlášce č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady ve znění pozdějších předpisů, tento popis dodavatel dodává v případě jednorázové nebo první z řady dodávek v jednom kalendářním roce;
- vedení provozního deníku kompostárny podle vyhlášky č. 383/2001Sb. o podrobnostech nakládání s odpady, zaznamenání všech vozidel a druhů odpadů přivezených na kompostárnu, jejich množství a potvrzení příjmu odpadů, vizuální kontrola odpadů, zaznamenání havárií včetně jejich následků, údržby a podobně;
- zvážení odpadu a zápis údajů do provozního deníku;
- zařazení odpadu do zakládky podle kvality a receptury;
- zajištění dodržování stanoveného technologického způsobu kompostování bioodpadů s důrazem na bezpečnost provozu kompostárny a vlivu na životní prostředí;
- evidence zahájení, vedení a ukončení kompostování v zakládce;

4.3.1 Povinnosti obsluhy kompostárny

- je přímo podřízena odpovědnému zástupci provozovatele kompostárny;
- v rámci své pracovní činnosti zodpovídá za dodržování provozního řádu;
- vizuálně kontroluje skládaný bioodpad;
- provádí údržbu zeleně a udržování sjízdnosti, úklid vozovek v areálu kompostárny;
- zodpovídá za hospodárné využívání svěřené techniky, pohonných a provozních hmot (i za jejich únik);
- zodpovídá za dodržování bezpečnosti a pořádku na pracovišti;
- vykonává pravidelnou údržbu a ošetřování svěřené techniky a zařízení kompostárny;

5 ŘÍZENÍ KVALITY PROCESU KOMPOSTOVÁNÍ

Jak bylo napsáno v kapitole 3.1.3 kvalitními znaky kompostu jsou: vlhkost kompostu, obsah spalitelných látek v sušině, obsah dusíku, obsah nerozložitelných příměsí, úroveň pH a poměr C:N. Tyto parametry se dají ovlivnit správným řízením procesu kompostování ve všech třech fázích zpracování, počínaje vstupními surovinami přes vlastní proces kompostování po konečnou úpravu vzniklého kompostu. Každá z těchto fází má svá specifika, která jsou popsána v následujících kapitolách s ohledem na energetickou náročnost i možnosti technického a technologického zázemí kompostáren.

Kvalita, složení a předzpracování vstupních surovin pro kompost je první způsob, jak se dá ovlivnit výsledná kvalita vytvořeného kompostu. Částečně byla tato problematika popsána v kapitole 4.2.6, kde se v předprocesu řídil obsah ovlivnitelných látek ve vstupní surovině, který nadále mohl ovlivnit proces kompostování i samotný výsledný produkt. Jednalo se o:

- obsah nežádoucích příměsí ve vstupních surovinách;
- obsah přebytečné vody ve vstupních surovinách;
- a obsah plyných látek nebo látek snadno zplynovatelných, které je možné kontrolovatelně vypouštět do atmosféry;

5.1 Ovlivnění kvality kompostu ve fázi předzpracování

Ve fázi předzpracování je možné ovlivnit celou řadu faktorů, které se následně podílejí na výstupní kvalitě produktu. V následujících několika kapitolách jsou shrnuty a popsány ty, které na výstupní kvalitu mají přímý vliv.

5.1.1 Obsah vody ve vstupní surovině

Značná část přebytečné vody ve vstupní surovině vytéká již ve fázi manipulace se surovinou a stává se vodou odpadní, jenž je zachytávána do jímek, ze kterých je zpracovávána buď jako odpad a postupuje zpravidla do čističky odpadních vod nebo je využívána ke zkrácení a zvlhčování surovin již v procesu kompostování.

Samotný obsah vody a relativní vlhkost vstupních surovin je parametr, který zvláště ovlivňuje počáteční proces kompostování. Pokud je vody nedostatek, hladina vlhkosti je nižší než minimální povolená, tak proces kompostování buď nenastává vůbec nebo je velmi zpomalen. Navíc takovýmto způsobem není možné dosáhnout minimální požadované teploty procesu, protože každé její zvýšení způsobuje ještě větší odpar a zastavení reakce. Nicméně tato situace není zpravidla tak zlá, protože není problém chybějící vodu vhodným způsobem (závlaha pomocí hadice, sprchového systému atd.) doplnit. Opakem je situace, kdy je vody ve vstupní surovině přebytek. Uvolněná voda odplavuje rozpustitelné části vstupní suroviny a v počátečním procesu neumožňuje přístup vzduchu do vnitřních vrstev kompostovaného materiálu, takže to opět znamená zpomalení a v určitých částech i zastavení procesu kompostování. Tato situace se zpravidla řeší buď přirozeným odparem, nebo listováním vstupních surovin a to i se ztrátou určitých částí rozpustných složek ze vstupních surovin, které odejdou společně s vylisovanou vodou.

5.1.2 Obsah rozpustných pevných látek ve vodě vstupní suroviny

Ve vodě, kterou obsahuje vstupní surovina, se vždy nacházejí rozpustné látky, které podle obsahu vody jsou buď stále pevné, nebo částečně rozpuštěné. Velká část těchto látek je biologického původu a přímo se podílí na vlastním procesu kompostování. Společně s těmito „chtěnými“ a prospěšnými látkami se ve vstupních surovinách nacházejí i rozpustné látky, které nepatří do skupiny toxické, ale které negativně ovlivňují proces kompostování. Mezi ně nejčastěji patří různé soli, které se do surovin dostaly přirozenou cestou nebo tam unikly v procesu předzpracování. Částečně do této kategorie patří také papír, který je částečně rozpustný ve vodě, dále různé saponáty a prací prostředky s vysokým obsahem fosforu a dusíku, které se také nějakým způsobem mohou dostat do vstupních surovin. Ve větším množství tyto látky mají za následek vznik nevhodného prostředí pro rozvoj mikroorganismů, jenž se ve značné míře podílí na samotném procesu kompostování. Bohužel tyto saponáty a rozpuštěné soli není možné žádným efektivním způsobem ze surovin odstranit. Samozřejmě se tyto látky dostávají i do výsledného produktu, takže jejich množství je hlídáno a omezováno.

5.1.3 Obsah nerozpustných pevných látek ve vodě vstupní suroviny

Obsah nerozpustných pevných látek ve vstupní surovině je zpravidla ovlivněn původem vzniku suroviny. Podle norem a předpisů mohou tvořit pouze 0,1 % celkové hmotnosti. Jelikož se jedná o nerozpustné látky, tak se jejich obsah, složení i struktura nemění během celého procesu kompostování, tento proces na ně nemá vliv. Pouze při mechanických operacích, jako je drcení, homogenizace a překopávání se rozměňují na menší části.

Z velké části se jedná o látky anorganického původu, nejčastěji se jedná o směs nerostů a hornin v podobě drobných kamenů a písku. Velmi často lepenka a papír, který jsou částečně nerozpustné a také se částečně podílí na procesu kompostování. Dále jsou to železné a neželezné kovy, různé plasty, gumy, sklo a textil. Tyto odpady se musí být vyříděné a uloženy do speciálních sběrných nádob, dále je s nimi nakládáno podle zákona o odpadech.

5.1.4 Obsah toxických látek ve vstupní surovině

Obsah toxických látek ve vstupní surovině vždy znamená velký problém. Pokud se vstupní surovina z převážné části skládá ze dřevin a zeleně jedná se převážně o kontaminaci pesticidy, herbicidy a jinými chemickými látkami, těžkými kovy a také pohonnými hmotami (například, ropnými produkty), které do suroviny pronikly buď ještě před tím, jak byla sklizena nebo během sklizení ze sklízecí techniky (ropné produkty). Může se stát, že samotné rostliny rostou na kontaminované půdě (například staré skládky, jímky, vyschlé laguny po chemickém průmyslu nebo těžbě). Toxické látky, převážně těžké kovy, se dostávají do těl těchto rostlin. Pokud je v blízkosti kompostárny také čistírna odpadních vod, je běžnou praxí, že se vzniklé kaly přimíchávají jako vstupní suroviny. V tomto případě jsou tyto kaly opět velkým zdrojem toxických látek a těžkých kovů. A v závislosti na účelu použití výsledného produktu je nutné obsah těchto látek hlídat již při samotném předzpracování vstupních surovin. Legislativa je co do obsahu těchto rozdílná, pokud je výsledný produkt použit jako hnojivo nebo jako odpad, který se ukládá na skládky.

Speciální případ nastává, pokud je vstupní surovina ve velkém množství kontaminována mikroorganismy a bakteriemi. Přemnožení těchto organismů by v počáteční fázi neumožnilo nastolení procesu kompostování. Tento případ je možné vyřešit krátkodobým ohřevem na 70 až 80 °C, kdy většina organismů zahyne. Stejný proces je přirozeně používán během procesu kompostování při tzv. hygienizaci.

5.1.5 Obsah plyných látek ve vstupní surovině

Plynné látky nebo látky snadno zplynovatelné se ve vstupní surovině nacházejí z přirozeného procesu. Pokud surovina má rostlinný původ, tak během fáze transportu a předzpracování probíhá kvasný proces. Takže neprovzdušněná surovina obsahuje především uvolněný oxid uhličitý, případně malé množství metanolu, etanolu a vyšších alkoholů částečně v plynné i kapalně formě. Může se objevit i malé množství vodíku, metanu a dalších bahenních plynů. Pokud vstupní surovina má svůj původ v živočišné sféře, tak v těchto případech jsou zastoupeny hnilobné procesy, jejichž produktem je nejčastěji amoniak, metan (případně další bahenní plyny), vodík, vodní pára a částečně zplynovatelné látky, jako je například močovina a nejrůznější složité organické kyseliny.

Obsah těchto látek zpravidla nenarušuje vlastní proces kompostování a naprosto minimálně ovlivňuje výsledný produkt. Většina látek plyného skupenství se uvolňuje ze vstupní suroviny již při samotném předzpracování, které předchází procesu kompostování. Nicméně je v těchto případech nutné dodržovat jistá bezpečnostní opatření, obzvláště tehdy, pokud k manipulaci s těmito látkami dochází v uzavřených prostorech nebo hlubších jámách bez zajištěného odvětrávání. V těchto případech jsou nebezpečné uvolněné plyny, které mají znatelně vyšší hustotu, než okolní vzduch. Mezi nejrizikovější patří oxid uhličitý, který již v podobných případech způsobil smrt udušením.

5.1.6 Složení vstupních surovin

Složení vstupních surovin je závislé na původu každé složky suroviny a také receptuře. Jako hlavní zdroje materiálu pro kompostování jsou uváděny následující tři složky:

- surovina rostlinného původu (dřeviny, zelené rostliny, zbytky po zemědělských plodinách apod.);
- surovina živočišného původu (hnůj, kejda, separovaná moč, uhynulí živočichové nebo jejich části jako kůže, chlupy, kopyta,...);
- Biologicky odbouratelné zbytky z technologických provozů (kaly z čističek odpadních vod, čištění říčních koryt, nánosy organických hmot z vodních nádrží, atd.);

Původ vstupní suroviny má vedle jejího složení také značný dopad na velikost jednotlivých komponentů, homogenitu i strukturu. Původ suroviny také ovlivňuje použitelnost v daném typu kompostárny. Všechny parametry mají vliv jak na fázi předzpracování materiálu, počáteční fázi kompostovacího procesu, jeho technologické řízení tak i na výsledný produkt. Jedním z nejprůkaznějších parametrů, kterým se hodnotí kvalita výsledného kompostu je poměr obsahu vázaného uhlíku ku dusíku C:N, který se musí norem musí pohybovat mezi 20 a 30. Tento poměr

předurčuje možnosti použití výsledného kompostu například pro účely hnojení nebo zkvalitňování půdy. Vstupní surovina živočišného původu má vyšší obsah dusíku, proto její přidávání do procesu je přínosem, pokud ovšem technologie zpracování toto přidávání umožňuje. Požadavkem normy je, aby obsah celkového dusíku ve vysušeném vzorku hotového kompostu byl minimálně 0,6 % celkové hmotnosti. Poslední parametr, který charakter původu vstupní suroviny ovlivňuje je výsledné pH, jenž se musí nacházet v rozsahu 6 až 8. Surovina produkující látky na bázi amoniaků výsledné pH produktu zvyšuje, naopak surovina produkující oxid uhličitý a látky kyselé hodnotu pH snižuje.

Následující *tabulka 5-1* uvádí obsah uhlíku, přirozenou vlhkost a spalitelné teplo běžných materiálů, které vstupují do procesu kompostace.

Tab. 5-3 Přehled zpracovatelných odpadů [49]

Materiál	Obsah C (%)	Vlhkost (obsah vody)	Spalitelné teplo (kJ/kg)
Papír, lepenka	35	19	13 490
Biodpad	23	46	9 300
Jídlo (směs)	18	60	7 560
Dřevo	41	16	16 050

5.1.7 Předzpracování vstupní suroviny – velikost komponentů

Vstupní velikost jednotlivých komponentů je opět dána původem vstupní suroviny, způsobem jejího dobývání nebo sklizení a procesem mechanického dělení, kdy například dřevo se zpracovává na štěpkovači a veškeré suroviny procházejí také fází drcení.

Velikost jednotlivých komponentů ovlivňuje proces kompostování hlavně na jeho počátku, kdy je pro aktivaci nutné dosáhnout potřebné teploty. Rychlost procesu, přeměny materiálu, ale i celková doba trvání procesu je úměrně závislá na velikosti komponentů, tedy na jejich ploše. Materiál zpočátku nereaguje celým svým objemem, pouze aktivní plochou. V malé míře má velikost komponentů také vliv na udržení požadované vlhkosti během procesu a možnosti provzdušnění.

V ideálním případě by drtička ve fázi předzpracování měla mít několik stupňů, tak aby se dosáhlo co nejmenších částec. Bohužel v tomto případě jde proti sobě získaný efekt ku vysokým investičním nákladům za techniku a spotřebě elektrické energie. Ve většině případů se vstupní surovina nerozmělnuje v komponenty menší 1 cm, optimem je velikost 1 až 3 cm.

5.1.8 Předzpracování vstupní suroviny – homogenizace

Homogenizace má svou nezastupitelnou úlohu před procesem kompostování. Je výhodná zvláště pak, pokud je vstupní surovina složena z materiálu různého původu, různé struktury a s různým obsahem vody. Pomocí homogenizátoru, kde dochází k míšení a promíchávání vstupní suroviny se v ideálním případě vytváří směs jednotného složení.

Jednotné složení vstupních surovin je základem pro jednotné a v celém objemu stejné složení výsledného kompostu, to samé se týká i výsledné kvality. Pokud jsou

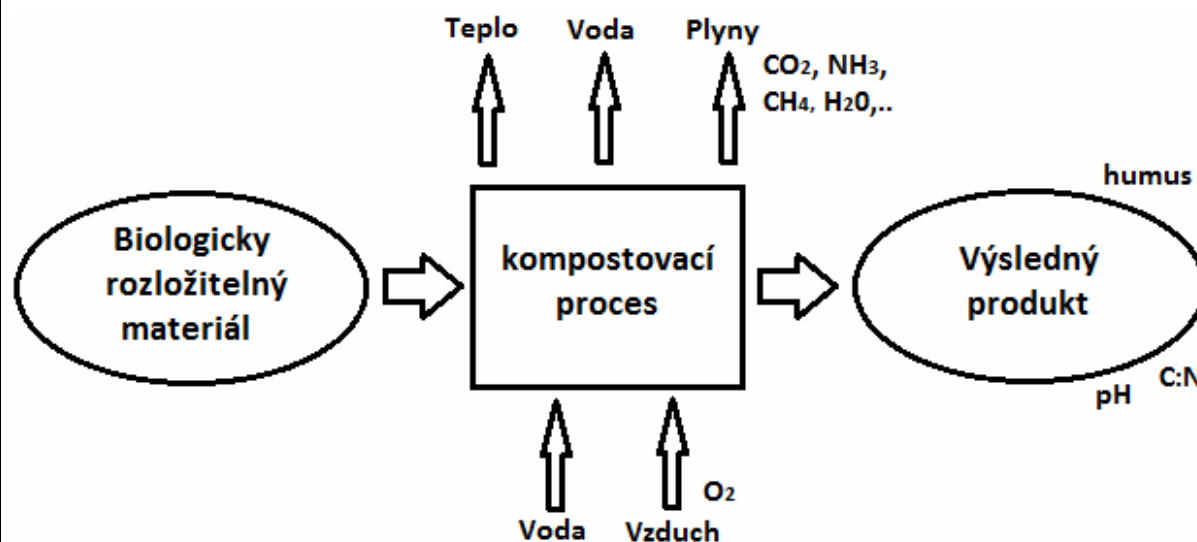
do vstupních surovin přidávány například kaly s určitým obsahem toxických látek a těžkých kovů, je homogenizace nezbytně nutná, aby došlo k dostatečnému „naředění“ těchto látek. Důkladná homogenizace má také zásadní vliv na počáteční fázi kompostovacího procesu, na jednotnou rychlost v celém objemu, konstantní poměr C:N, stejnou nebo přibližně stejnou teplotu, která souvisí s hygienizací a udržením potřebné úrovně vlhkosti.

5.1.9 Teplota vstupní suroviny

Jelikož většina i velkých kompostáren pracuje pouze sezónně, kdy je dostupné velké množství vstupních surovin, není tento parametr tolik sledovaný. Nicméně pokud dojde k promrznutí vstupní suroviny, je v počáteční fázi značně obtížné započít proces kompostování. Buď k němu vůbec nedojde, nebo je jen velmi pozvolný a účastní se ho pouze část objemu. Za tímto účelem jsou některé moderní zastřešené kompostárny vybaveny tzv. předeřevem, který vstupní suroviny zahřeje na teplotu 5 až 10°C. Tato teplota je již dostatečná pro samovolný start procesu. Nicméně zahřátí tak velkého množství materiálu na tuto teplotu je v chladných (zimních) měsících energeticky velmi náročné.

5.2 Ovlivnění kvality kompostu při samotném procesu kompostování

Samotný proces kompostování je započat vložením upravené vstupní suroviny do připravené nádoby (PE-pytle, žlabu, jímky), kde probíhá daný proces. A je ukončen snížením teploty kompostu pod 30 °C nebo pod teplotu, která je nižší, než teplota okolí zvýšená o 10 °C, kdy se vzniklý produkt již nachází v oblasti tzv. „stability“. Zpravidla je ale proces kompostování zakončen vyjmutím hotového produktu z nádoby.



Obr. 5-1 Proces kompostování

Vedle upravení parametrů vstupní suroviny má na proces značný vliv řízení během procesu několika hlavních parametrů, které vedou buď ke změně složení a struktury výsledného produktu – tzv. řízení kvality nebo k urychlení procesu, který

snižuje energetickou náročnost a umožňuje efektivněji využít kapacitu kompostárny. Oba tyto postoje stojí proti sobě a je třeba vždy najít optimum mezi výslednou kvalitou a ekonomickými náklady na její dosažení.

Na *obrázku 5-1* je diagram procesu kompostování, je z něho patrné, které látky do procesu vcházejí a které z něho vycházejí. Hlavními sledovanými parametry je tedy teplota a vlhkost. Ale jsou i jiné sledované parametry, které se podílejí na výsledných parametrech produktu:

- pH:
 - vstupní suroviny mají hodnotu pH nízkou, zpravidla v rozsahu 4 až 6 (pokud budeme uvažovat i produkty z živočišné výroby může být nižší než 3)
 - v počátečním procesu (tzv. aktivace) hodnota pH ještě nepatrně klesá přibližně o hodnotu 0,5, při dosažení teploty vyšší jak 50 °C začne hodnota pH prudce stoupat
 - v dalších fázích procesu kompostování hodnota se hodnota pH ustálí na hodnotě blízké 7 a již se nemění [50]
 - hodnota pH nesmí překročit hodnotu 8
- %poměr C
 - procentuální poměr uhlíku je během procesu nepatrně klesá, většinou z hodnoty 38 až 40 % v počáteční fázi na 34 až 36 % v fázi konečné [50]
- %poměr N
 - naopak procentuální poměr dusíku v průběhu kompostování stoupá, zpravidla z hodnoty 1,3 až 1,4 % na 1,6 až 1,7 % [50]
- poměr C:N
 - ze změny procentuální zastoupení dusíku a uhlíku během procesu kompostování je patrné, že poměr C:N klesá, průměrná hodnota v počáteční fázi kompostování je v mezích 28:1 až 30:1 a na konci procesu 24:1 až 26:1 [50]
 - tolerovatelný rozsah je mezi 20:1 až 40:1, pokud je překročena hodnota 40:1, tak růst mikroorganismů je zastaven a proces kompostování trvá značně dlouho, naopak pokud hodnota klesne pod 20:1, tak stoupá plynný obsah amoniaku a oxidů dusíku, stoupá také pH a použití kompostu je znemožněno [51]
- fosfor
 - nutný je také malý obsah fosforu ve výstupním produktu, pokud vstupní produkty nepochází ze zemědělské produkce, je nutné fosfor doplnit přidáním superfosfátu (max. 2 kg na 1 tunu)

V následujících bodech jsou vyjmenovány parametry, kterými lze ovlivňovat proces kompostování za účelem dosažení optimálního využití kompostárny.

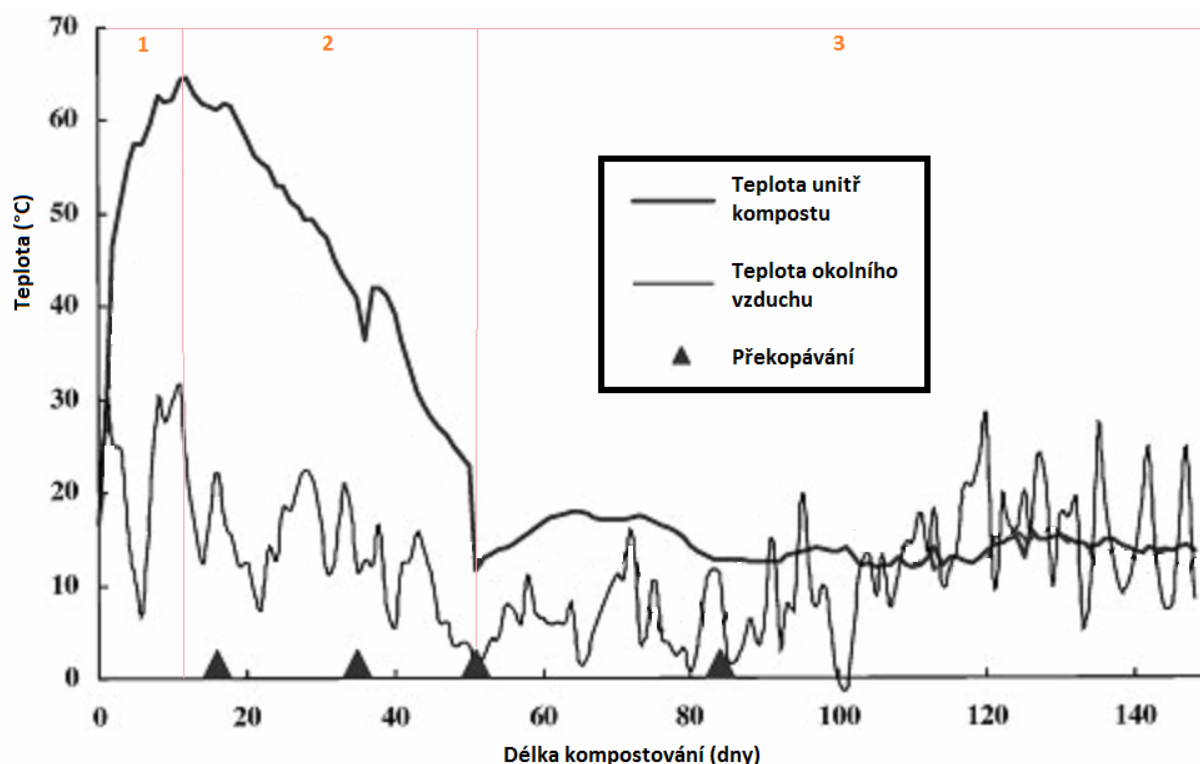
5.2.1 Teplota procesu

Samotný proces kompostování můžeme rozdělit na tři fáze. První je počáteční fáze, které se účastní jednotlivé komponenty procesu pouze svým aktivním povrchem. V této fázi teplota pomalu vzrůstá a tím se rychlost reakce zvyšuje. Další navazující částí je proces hygienizace, kdy teplota dosahuje minimální teploty 45 °C u malých kompostáren a 65 °C u velkých uzavřených kompostáren. Procesu se účastní hmota celým svým objemem. V této fázi je nutné k dosažení účinné

hygienizace udržení požadované teploty po určitou dobu, která je dána *tabulkou 3-3*. Do poslední fáze se proces dostává, pokud teplota začne klesat, procesu se může účastnit méně a méně hmoty, dokud reakce zaniká a teplota se přiblíží teplotě okolí.

Takže řízením teploty procesu lze:

- Reakci procesu urychlit nebo zpomalit.
- Řídit hloubku hygienizace.
- V malé míře ovlivnit poměr C:N, protože při vyšší teplotě se vytváří větší množství plynných sloučenin s dusíkem, který se dostává do ovzduší.
- Částečně také ovlivňuje výslednou strukturu kompostu, která je do jisté míry ovlivněna rychlostí procesu.
- Teplota procesu přímo souvisí s vlhkostí, při vyšší teplotě procesu dochází k většímu odparu vody, jejíž snížení zpomaluje reakci. Z tohoto důvodu lze teplotu regulovat dodávkou studené vody, kdy na malou chvíli dojde ke zpomalení reakce ztrátou teploty, nicméně větší množství nové vody reakci po chvíli opět urychlí. Zbytkové teplo lze využít například také k ohřevu vody, kdy se část tepelné energie z procesu využije k tomuto účelu. Bohužel toto nízkopotenciálové teplo je vhodné maximálně k ohřevu TUV v rámci samotného objektu kompostárny. Důležitým stabilizačním prvkem v tomto procesu je vzduch, který se tady při zvýšené vlhkosti nemůže dostat k subčinitelům reakce a ta se zpomaluje.



Obr. 5-2 Proces kompostování – průběh teploty [50]

Na *obrázku 5-2* je graficky znázorněn průběh teploty při procesu kompostování, ve fázi (1), nazývané počáteční, někdy také aktivační fáze, dochází k rychlému

nárůstu teploty. Tato část procesu kompostování trvá zpravidla řádově dny, ve velkých kompletačních stanicích maximálně dva týdny. Ve fázi (2), nazývané ochlazující fáze, probíhá postupné ochlazování na teplotu 20 až 30 °C, úměrně teplotě se zpomaluje reakce. Fáze (1) a (2) se v některých literárních pramenech jmenují termofilní. Ve fázi (3), jenž se jmenuje fáze stability, je již kompost stabilní (vyzrálý), díky vysoké tepelné kapacitě se teplota takřka nemění i navzdory velkému kolísání okolní teploty. V podstatě v této fázi je proces kompostace již ukončen a vzniklý produkt je možné vyjmout.

5.2.2 Voda

Vlhkost je vedle požadované teploty a přístupu vzduchu podmínkou, aby k procesu kompostování vůbec mohlo dojít. Pomocí vody probíhá transfer látek v procesu, dochází k odvodu tepla a umožňuje rozpustným látkám účastnit se procesu. Samotná voda je též potřebná pro rozvoj vlastních půdních mikroorganismů, bez kterých by proces kompostování vůbec neproběhl. Takže je jakýmsi univerzálním médiem, skrz které proces probíhá.

Obsah potřebného množství vody je nutné zajistit již ve fázi přípravy suroviny tak, aby počáteční fáze kompostování mohla vůbec začít. Při procesu kompostování je nutné zajistit pravidelné měření vlhkosti minimálně ve třech úrovních (na povrchu, uvnitř a na dně nádoby). Pokud je vody málo, směs se hrudkuje a reakce se zastavuje. Tento proces je zpravidla vratný a pomocí závlahového nebo sprchového systému se chybějící voda doplní. Je-li naopak vody větší množství než potřebné, nastává horší situace. Větší množství přidané studené vody reakci zpomalí nebo úplně zastaví. Navíc se přes vodu k reagujícím činitelům nemůže dostat vzduch a reakce se i s přehříváním nemůže znovu rozběhnout. V těchto případech nezbyvá nic jiného, než vyčkat až část vody vyteče samospádem z odtokového žlabu v nádobě. Bohužel takto se přichází o značné množství materiálu rozpuštěného ve vodě, který by se mohl účastnit reakce. Řízením množství vody lze dosáhnout:

- Ovlivnění rychlosti reakce, případně její úplné zastavení.
- Částečně regulovat teplotu procesu v jednotlivých fázích.
- V malé míře ovlivnit poměr C:N, jelikož dodávka vody souvisí s teplotou, ale také s typem reakce.
- Částečně také ovlivňuje výslednou strukturu kompostu, která je do jisté míry ovlivněna rychlostí procesu.
- Pokud počáteční suroviny obsahovaly ve vodě rozpuštěné cizorodé látky, jako například soli, je dodávka vody poslední možností, jak lze tyto látky z kompostu odstranit. Stejně lze postupovat, pokud jsou suroviny znečištěny ropnými látkami. Tak v extrémním případě je možné tyto látky separovat z povrchu kompostu v nádobě, pokud se přidá větší množství vody.

Schopnost materiálu zadržovat vodu během procesu kompostování se nepatrně mění, v počáteční fázi kompostování je schopnost materiálu kompostu jímat vodu okolo 200 až 220 % svého objemu. Ke konci procesu kompostování a ve fázi stability tato hodnota klesá na hodnotu přibližně 160 %. [50]

5.2.3 Provzdušnění

Bez vzduchu by proces kompostování nebyl možný. Bez jeho přítomnosti by nemohlo dojít k množení potřebných mikroorganismů. V přirozeném procesu kompostování, probíhajícím v přírodě je dodávka vzduchu zajištěna pomocí malých otvorů v půdě, které vytvářejí živočichové. Proces kompostování v průmyslových kompostárnách by běžní živočichové nepřežili kvůli vysokým teplotám, proto je nutné zajistit přísun vzduchu například pomocí trysek nebo různých otvorů, umístěných tak, aby byl vzduchem zásobován celý objem zpracovávaného materiálu rovnoměrně.

Bez přístupu vzduchu takřka okamžitě reakce zaniká, protože činnost mikroorganismů je ihned zastavena vznikem odpadního oxidu uhličitého a dalších nedýchatelných plynů. Nebezpečí volné nevázané vody v kompostu spočívá v tom, že zabraňuje přímému přístupu vzduchu jednotlivým subčinitelům a bublinky vzduchu se pouze dostávají na povrch, bez zúčastnění se reakce. Vháněný vzduch umožňuje odstranění plynných látek z reagující směsi tak, aby se v co nejmenší míře dostaly do výsledného produktu.

5.2.4 Překopávání

Hlavním cílem překopávání je provzdušnění kompostu. Proces překopávání kompostu je nutné provádět v pravidelných intervalech. Díky němu také dochází k dokonalejší homogenizaci směsi, umožňuje nastolení stejných podmínek v celém objemu nádoby – teploty, vlhkosti a vyžrátosti. Do jisté míry ovlivňuje strukturu výsledného produktu (jeho granulovitost, sypkost, pojivost apod.).

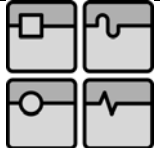
5.3 Konečná úprava vzniklého kompostu

Vzniklý konečný produkt – hotový kompost je po procesu kompostování vyjmut z nádoby, kde proces probíhal, a dle účelu jeho dalšího využití je s ním naloženo.

Dle účelu použití je možné u vzniklého produktu ještě vylepšit určité parametry nebo ho připravit na transport k dalšímu zpracování. Možné manipulace a technologické postupy jsou popsány v následujících bodech.

5.3.1 Dozrávání vzniklého produktu

Pro účely hnojení nebo přihnojování je nutné, aby produkt kompost byl dostatečně stabilní, a proto je vhodné ho nechat tzv. vyžrát. Tento proces se provádí na velké ploše, zpravidla v samotném prostoru kompostárny tak, že se na zajištěném a podložené prostranství vzniklý kompost rozloží do tenké vrstvy a je zpravidla několik dní ponechán povětrnostním podmínkám. Přibližně jednou za den je překopán a obrácen. Tímto procesem se díky přirozenému odparu vody unikají poslední plynné složky, jež vznikly během procesu a hlavně dochází k dokončení samotného procesu. To znamená, že se poté již v kompostu nenacházejí žádné látky, které by měly tendenci rozkladu za přispění mikroorganismů. Veškerá organická hmota je přeměněna na úrodné složky, převážně na humus.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 58
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

5.3.2 Postprocesní zpracování vzniklého produktu

Postprocesní zpracování vzniklého a zpravidla již vyzrálého produktu může být provedeno promývání, prosévání nebo čištění. Výsledkem je homogenní kompost bez hrudek a cizích příměsí.

5.3.3 Balení vzniklého produktu

Hotový kompost se většinou balí do PE pytlů. Takto je produkt nabízen maloobdobatelům, kteří jej využívají na hnojení nebo zušlechťování půdy v zahradnických centrech nebo zahrádkových koloniích. Dostupná balení se pohybují od 1 do 70 litrů. Balení chrání kompost od vysychání a pomáhá dlouhodobě zachovávat své užitečné vlastnosti. Pro velkoodběratele, kterými jsou například zemědělská družstva, kompost zpravidla balen není, jelikož tento proces je opět materiálově i technologicky náročný a značně prodražuje výsledný výrobek. Většinou příslušná nakládací technika nakládá hotový produkt přímo z přípravných ploch v tzv. hrubém stavu.

6 OPTIMALIZACE PROCESU KOMPOSTOVÁNÍ

Optimalizací procesu kompostování se myslí úprava předprocesu i samotného procesu kompostování tak, aby byla:

- zajištěna požadovaná kvalita výsledného kompostu, jenž se kontroluje na hygienickou nezávadnost na základě jeho mikrobiologického hodnocení a stanovováním biologické stability;
- náklady na transport a předzpracování materiálu, který vchází do procesu kompostování, byly také minimální;
- ekonomická udržitelnost projektu;

Do možností optimalizace se započítává veškerá použitá technika, prostředky a procesní úkony v časovém rozložení. Jednoduše řečeno vše, co může výsledný produkt jakýmkoli způsobem ovlivnit a zároveň jsou k tomuto účelu vynaloženy investiční nebo provozní náklady.

V praxi se proces kompostování potýká s neustálým hledáním optima, protože nikdy není opakovatelně zaručen stejný průběh procesu, jehož ovlivňují především různorodé aspekty složení vstupní suroviny a působící povětrnostní vlivy. Kompromisem je vždy určité ekonomicko-kvalitativní optimum za současného dodržení všech platných předpisů a zákonů, jež upravují limitní provoz kompostárny.

Přímý vliv na kvalitu výsledného kompostu mají veškeré aspekty popsané v předchozí kapitole. Jejich změnou a možnostmi technologického zázemí kompostárny lze vlastnosti výsledku v omezení míře řídit a měnit. Nicméně samotné optimální řešení je zpravidla vždy více závislé na zkušenostech pracovníků, kteří se snaží docílit „dobrého výsledku“ bez nutnosti zbytečného nasazení drahé techniky. Stanovení optimálního využití dostupné techniky, či zakoupení nových modernějších technologií již není v rozsahu této práce a pravděpodobně by bylo nutné provést dlouhodobou ekonomickou analýzu, jenž zpracuje nové investiční, provozní náklady a míru využitelnosti ku vylepšení kvality výsledného produktu.

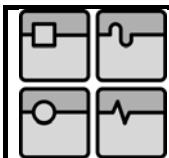
Optimalizací procesu kompostování lze také chápat jako optimalizaci samotné přípravy projektu výstavby nové kompostárny, kde se jedná především o žádost o dotaci. Dále je možné optimalizaci provádět na úrovni organizační nebo administrativní.

6.1 Příklady optimalizace

V následujících několika kapitolách jsou uvedeny velmi často se opakující činnosti nebo technologické procesy, jejichž optimalizací lze proces kompostování ovlivnit a snížit tak buď měrné náklady na výrobu kompostu, nebo zvýšit výstupní kvalitu.

6.1.1 Všeobecné příklady optimalizace

Týkají se například omezení činnosti spojené s manipulací vstupních surovin a výsledného kompostu. Toto snížení se týká počtu manipulačních úkonů a přepravní vzdálenosti. Proto jsou kompostárny zpravidla stavěny do blízkosti zdroje surovin nebo do míst s hromadným využitím vytvořeného kompostu. Nicméně s dojezdovou vzdáleností nelze zpravidla nic udělat a jediný význam má v tomto případě zefektivnění manipulace uvnitř areálu kompostárny a to jak snížením počtu



manipulačních kroků, tak snížením přepravní vzdálenosti například pomocí pásových dopravníků.

Dalším možným způsobem optimalizace činnosti provozu kompostárny je její vybavení čističkou odpadních a stokových vod, které je po této „recyklaci“ možné opět užít v procesu. Nehledě na fakt, že kompostárna posléze může zpracovávat větší množství kalů a dalších nebezpečných koncentrovaných materiálů, u kterých hrozí únik do životního prostředí.

Během procesu kompostování vzniká odpadní teplo. Díky využití dnešních nízkopotenciálních výměníků je možné toto odpadní teplo částečně odvádět, čímž lze do určité míry regulovat proces, kde teplota je jedním z hlavních ukazatelů stavu. Bohužel toto teplo je v kontinuálních kompostárnách dostupné pouze určitou část kompostovacího procesu, navíc v množství, které jen stěží pokryje potřeby areálu například na ohřev TUV. Investice do ekonomicky náročné stavby výměníků s rozvodem teplé vody má smysl pouze u celoročně vytížených kompostáren, kde je navíc možnost upotřebení takto získané energie převážně v zimních měsících.

Další příklad optimalizace již nesouvisí se samotným procesem kompostování, ale spíše s ekonomickým provozem celého areálu kompostárny. U zastřešených typů kompostáren je zpravidla dostupná velká volná plocha, na kterou je možné umístění fotovoltaických panelů. V této době (květen 2012) je již předchozí boom rozkvětu fotovoltaiky na našem území na ústupu, nicméně je stále možné získat tzv. „zelený bonus“ a elektrickou energii vyrobenou fotovoltaickými střešními panely za zvýhodněnou cenu posílat do distribuční soustavy. Návraty těchto investic v závislosti na lokalitě, podmínkách výkupu a velikosti investice, jsou přibližně 10 let.

Optimalizaci procesu kompostování je možné dosáhnout i snížením energetické náročnosti celého procesu. Za zmínku také stojí, že většina dnes provozovaných kompostáren je vybavena starší technikou. Dnešní moderní stroje mohou být nasazeny daleko univerzálněji a tam kde dříve musely být stroje tři, dnes stačí pouze jeden. Zakoupení univerzálních manipulačních a dezintegračních strojů, například drtiče-štěpkovače, traktora s nakládačem, manipulátora-traktora-nakladače apod., je možné značně snížit investiční náklady. Ve výsledku klesají i náklady provozní, jelikož stroj, jenž spojuje funkci několika různých strojů, potřebuje údržbu úměrnou pouze jednomu stroji, navíc s jedním pohonem může v jednom okamžiku vykonávat více činností.

6.1.2 Optimalizace složení vstupních surovin

Zakládka musí být optimalizovaná takovým způsobem, aby se během procesu kompostování docílilo co nejvyšší účinnosti tvorby humusových látek. To znamená, že v surovinovém složení kompostu je nejdůležitější obsah organická hmota, která podléhá rozkladu mikroorganismy.

Za první předpoklad správného průběhu kompostovacího procesu se předpokládá udržení přiměřené vlhkosti kompostovací hmoty jak na počátku, tak během celého procesu. Tato vlhkost je závislá na pórovitosti, charakteru a velikosti částic zpracovávaného materiálu. Optimální vlhkost u čerstvého kompostu v zakládce je dána následující tabulkou 6-1.

Tab. 6-4 Optimální vlhkost u čerstvého kompostu [52]

Typ materiálu	Obsah organických látek (%)	Vyžadovaná počáteční vlhkost (%)
Zemitý materiál	do 20	45 - 50
Zemědělský odpadní	30 - 40	55 - 60
Stromová kůra, dřevo	50 - 70	60 - 70
Chlévská mrva	60 - 70	65 - 75

Z tabulky je patrné, že obsah vyžadované počáteční vlhkosti je tím vyšší, čím vyšší je obsah organických látek. Mělo by také platit, že počáteční vlhkost kompostu by měla být větší než výsledná vlhkost hotového zralého kompostu. Protože během procesu kompostování klesá pórovitost a zrnitost materiálu a tím klesá i schopnost pojmout vodu. Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, tak je lepší vlhkost kompostu v každé jeho fázi držet při té nižší hranici, protože při překročení hranice vyšší nedochází k přístupu vzduchu a aerobní fermentace přechází na pomalejší a pro náš proces nevhodnou anaerobní.

Pro optimalizace procesu kompostování je nutné znát procentuální skladbu vstupního materiálu pro kompostování. Organické materiály vhodné pro kompostování a jejich základní vlastnosti, které je nutné znát při zakládání kompostu, jsou uvedeny v následující *tabulce 6-2*. Uvádí přirozenou vlhkost a obsah organických látek. Při znalosti složení kompostu a vlastností těchto materiálů je možné přibližně určit počáteční vlhkost základky nového kompostu. Zpravidla je vlhkost vstupních komponentů nižší než požadovaná, proto je nutné již na počátku určité množství vody do směsi dodat.

Tab. 6-2 Organické materiály vhodné pro kompost a jejich vlastnosti [52]

Hmota	Obsah organických látek (%)	Přirozená vlhkost (%)
Chlévská mrva - skot	78 - 85	75 - 82
Chlévská mrva - koně	86 - 92	68 - 73
Chlévská mrva - ovce	88 - 96	65 - 70
Kejda prasat	72 - 78	91 - 98
Kejda skotu	70 - 81	94 - 99
Kejda drůbeže	65 - 76	82 - 97
Sláma obilovin	92 - 96	13 - 20
Sláma řepky	98 - 97	15 - 18
Nať - brambory	88 - 91	25 - 60
Listí	88 - 94	15 - 40
Zelenina	85 - 90	80 - 90
Ovoce	78 - 92	65 - 80
Piliny	97 - 99	40 - 70
Stromová kůra	94 - 98	40 - 70
Kanalizační kal	27 - 45	55 - 96
Jímkový kal	30 - 48	91 - 98
Rybniční bahno	8 - 25	25 - 80
Kostní šrot	17 - 23	5 - 20
Jateční odpad	70 - 95	70 - 85

Právě dosažení optimální vlhkosti základky a udržení požadované vlhkosti během procesu kompostování (hlavně ve fázi s vysokými teplotami) je stěžejní, protože přímo ovlivňuje energetickou náročnost procesu – provozní náklady a také výslednou kvalitu kompostu, nehledě na fakt, že při nedodržení potřebných mezí hodnoty vlhkosti se celý proces prodlužuje a tím opět stoupají měrné náklady.

6.1.3 Návrh a projektování kompostárny

Asi nejdůležitějším faktorem, který je nutné optimalizovat již při samotném návrhu kompostárny, je její kapacita. Z těchto důvodů se zpracovává tzv. analýza potencionální tvorby odpadu v okolí a jeho charakter. V případě příliš naddimenzované stavby a kapacity nedojde k odpovídajícímu využívání, měrné náklady se zvýší a navíc se objeví riziko špatného průběhu samotného procesu kompostování. Protože při nedostatečném naplnění připravených prostor nemusí být zajištěn správný a dostatečný průběh teplot během procesu, protože nedojde k dostatečnému navrstvení materiálu a odvod tepla převýší jeho tvorbu. Naopak v případě, kdy kompostárna nebude mít potřebnou kapacitu, dojde k přezásobení skladovacích prostor nebo k případnému zbytečně dlouhému ponechání vstupního materiálu povětrnostním vlivům. V nejhorším případě při nemožnosti využití jiných kompostáren v okolí může dojít k nevýhodnému uložení materiálu na skládkách komunálního odpadu.

Návrh kompostárny je složitý proces, při kterém je nutné zohlednění velkého množství faktorů. Při návrhu a projektování může posloužit počítačový program Composter, který by navržen a vyvinut Institutem tropů a subtropů při České zemědělské univerzitě v Praze ve spolupráci s programátorskou firmou Amaio Technologies. Pomáhá určit optimální surovinovou skladbu pro začínající kompostárnu podle charakteru místa jejího umístění. Samozřejmě výsledkem je optimální kapacita kompostárny s kapacitou jímky. Mimo jiné program dokáže určit přibližné investiční a provozní náklady budoucí kompostárny. [53]

Program umí mimo jiné optimalizovat surovinovou skladbu kompostu. Uživatel programu si může vybrat suroviny a jejich skladbu dle očekávaného stavu, který je zpravidla ovlivněn zdroji biologicky rozložitelného materiálu v okolí kompostárny. Program nabídne optimální vlhkost a poměr v počátku základky. Poté se hledá optimum složení směsi. Výhody programu jsou ve snadném ovládání a přehledném grafickém výstupu. Dle zkušeností program nachází uplatnění hlavně v menších kompostárnách, nicméně většinou vždy při výběru a skladbě surovin se provozovatel řídí zkušenostmi a instinktem. [54]

Analýza potencionální tvorby odpadů v okolí kompostárny se provádí na základě:

- charakteristiky spádové oblasti, do které kompostárna spadá;
- stávající možnosti a budoucí odhady využití;
- uvedení ročního nebo případně sezónního využití kompostárny;

Veřejná kompostárna představuje pro danou oblast optimální možnost pro efektivní zpracování BRO bez ohledu na to, z jaké sféry tento odpad pochází. Zpravidla největším podílem jsou odpady pocházející z městské zeleně. Pro města s řádově desítkami tisíc obyvatel to jsou tisíce tun za rok. Například ve středně velkém městě s počtem obyvatel kolem 30 tisíc je podíl odpadu z komunální zeleně

cca. 1800 tun za rok. Dalším hlavním přispěvatelem je zpravidla dřevní štěpka, která pokud není využívána v teplárnách jako palivo tvoří přibližně stovky tun za rok od jedné středně velké firmy zpracovávající dřevo. A poslední neméně významná a pravidelná složka je BRO od občanů, kdy opět pro město s řádově desítkami tisíc obyvatel to jsou stovky tun za rok. [55]

Díky výstavbě kompostárny může být v okolí navýšen nebo zaveden:

- počet sečí veřejných ploch (lepší a intenzivnější údržba);
- plošný sběr BRO od občanů;
- navázení BRO ze zahrádkářských kolonií;
- zpracování BRO z jídelen a jídlo připravujících závodů;
- kompostárna také může sloužit jako univerzální sběrné místo BRO;
- možnost zpracování kalů z čističek odpadních vod;
- sníží se zápach ze sběrných nádob na směsný komunální odpad; [55]

Následující *tabulka 6-3* uvádí potencionální roční skladbu kompostu pro středně velké město (30 tisíc obyvatel).

Tab. 6-3 Roční skladba materiálu pro kompost pro středně velké město [55]

Původ materiálu	Množství (tun/rok) před zavedením kompostárny	Množství (tun/rok) po zavedení kompostárny
Městská zeleň	1800	3000
Dřevní štěpka	100 - 200	100 - 200
Obyvatelé (BRKO)	100	2400
Zbytky jídla	60 - 70	60 - 70
Zemědělský původ	20 - 50	20 - 50
Celkem	2080 - 2220	5580 - 5720

Bohužel část materiálu je vždy sezónního charakteru, který je dostupný jen v teplých měsících (duben až říjen). To se týká převážně dominantního podílu odpadu z údržby městské zeleně. Naopak odpad původem od obyvatel, z přípravy jídla nebo zemědělského původu je na ročním období takřka nezávislý. Takže v případě třicetitisícového města lze v jednotlivých měsících roku očekávat příjem materiálu v přibližné výši, kterou uvádí následující *tabulka 6-4*.

Tab. 6-4 Měsíční množství přijímaného materiálu

Původ materiálu	Teplé měsíce (duben – říjen) (tun/měsíc)	Chladné měsíce (listopad – březen) (tun/měsíc)
Městská zeleň	429	0
Dřevní štěpka	8 - 17	8 - 17
Obyvatelé (BRKO)	200	200
Zbytky jídla	5 - 6	5 - 6
Zemědělský původ	2 - 4	2 - 4
Celkem	644 - 656	215 - 227

7 ANALÝZA OPTIMALIZACE ČINNOSTI KOMPOSTÁRNY V BLANSKU

V této kapitole je provedena analýza činnosti kompostárny v Blansku a podle ní navržená optimalizace kvality a efektivity procesu kompostování.

Analýza je prováděná podle následujících bodů požadované kvality výsledného kompostu. Dále dle nákladů na předzpracování materiálu a ekonomické udržitelnosti projektu.

Analýza požadované kvality kompostu se provádí na základě laboratorních zkoušek, kdy se poté zjištěné hodnoty porovnávají s limitními hodnotami, stanovenými v příslušných normách. Porovnání výsledků zkoušky hotového kompostu s limitními hodnotami je uvedeno v *tabulce 7-1*.

Tab. 7-1 Porovnání výsledku zkoušky s limitními hodnotami

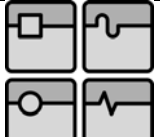
Parametr	Jednotka	Zjištěná hodnota	Limitní hodnoty podle vyhlášky č. 341/2008 Sb. *	Stav
Sušina	% hmot.	74.0		odpovídá
Vlhkost	% hmot.	26.0	Od zjištěné hodnoty spalitelných látek jejího dvojnásobku, min. 40 až 65	neodpovídá
Spalitelné látky	% v suš.	28.8	min. 25	odpovídá
C:N		10.2	min. 20 (max. 30)	neodpovídá
pH		8.9	6.0 – 8.5	neodpovídá
Dusík celkový	% v suš.	1.41	min. 0.6	odpovídá
Nerozložitelné příměsi	% hmot.	1.86	max. 2.0	Odpovídá
Limitní hodnoty podle vyhlášky č. 474/2000 Sb. **				
Arsen	mg/kg suš.	6.3	max. 20	Odpovídá
Kadmium	mg/kg suš.	0.54	max. 2	Odpovídá
Chrom celkový	mg/kg suš.	47.7	max. 100	Odpovídá
Měď	mg/kg suš.	35.2	max. 150	Odpovídá
Rtuť	mg/kg suš.	0.13	max. 1	Odpovídá
Nikl	mg/kg suš.	22.6	max. 50	Odpovídá
Olovo	mg/kg suš.	28.9	max. 100	Odpovídá
Zinek	mg/kg suš.	230	max. 600	Odpovídá

* - o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady

** - o stanovení požadavků na hnojiva

Z tabulky je patrné, že hotový kompost obsahuje nedostatečné množství vody, má nízký poměr C:N a vysoké pH.

Nedostatečná vlhkost kompostu může být způsobená nesprávným sestavením základky surovin a může způsobit nedosáhnutí minimální požadované teploty procesu, či dokonce jeho zpomalení a v extrému zastavení. Nicméně tuto situaci lze napravit vhodným složením surovinové základky a to přidáním surovin s nízkým obsahem organických látek a vysokým procentem přirozené vlhkosti. Nejvíce vláhy obsahují jímkové a kanalizační kaly a odpad ze zeleniny. Chybějící vodu je možné také doplnit i během procesu kompostování pomocí hadice anebo sprchového systému. Navíc během procesu je nutné zajistit pravidelné měření vlhkosti minimálně

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 65
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ve třech úrovních (na povrchu, uvnitř a na dně nádoby) pro včasnou detekci a doplnění nedostatku vody.

Další nevyhovující parametr je poměr C:N, je tedy nižší, než je třeba. Může to být způsobeno opět špatnou sestavenou recepturou surovinové základky. Poměr C:N udává rychlost rozkladu organického zbytku a ovlivňuje činnost mikroorganismů. Pokud hodnota klesne pod 20:1, bude stoupat plyný obsah amoniaku a oxidu dusíku, bude stoupat také pH a použití kompostu nebude možné. Zajistit u hotového kompostu požadovaný poměr C:N je možné zajištěním určitého poměru C:N už v surovinové základce, kde poměr C:N musí být vyšší, než na konci procesu. Dosáhnout potřebného poměru C:N je možné přidáním komponentů ve formě znehodnoceného sena, slámy, kejdy apod. Výrazněji poměr C:N je také ovlivněn například odpady ze zeleniny - poměr C:N je (30 - 40:1), směsí listí (31 - 48:1) a čistírenskými kaly (6 - 16:1).

Poslední parametr, neodpovídající limitním hodnotám je pH. Výsledné pH ovlivňuje charakter původu vstupní suroviny. Surovina produkující látky na bázi amoniaků výsledné pH produktu zvyšuje, naopak surovina produkující oxid uhličitý a látky kyselé hodnotu pH snižuje. Takže, aby se úroveň pH snížila, musí být sestavena surovinovou skládku tak, aby výsledný produkt měl potřebnou úroveň pH anebo přidat odpovídající chemický přípravek – síran amonný jako zdroj dusíku.

Pro optimalizaci surovinové základky by nebylo zbytečné využití programu Composter, který umí vyhledat optimální surovinovou skladbu kompostu. Uživatel programu si může vybrat suroviny a jejich skladbu podle očekávaného stavu. Program nabídne optimální vlhkost a poměr v počátku zakládky, poté se hledá optimum složení směsi. Využití tohoto programu by odstranilo možné chyby, vznikající při výběru a skladbě surovin, řízenými zkušenostmi a instinktem.

Další optimalizace se týká manipulace se surovinami. Jak bylo řečeno v kapitole 6 s dojezdovou vzdáleností nelze zpravidla nic udělat a jediný význam má v tomto případě zefektivnění manipulace uvnitř areálu kompostárny. Kompostárna v Blansku je vybavena dostatečným množstvím dopravního zařízení (dopravník pásový, reverzní naskladňovací dopravník, spodní příčné pásové dopravníky, šikmé boční pásové dopravníky, příčné pásové dopravníky, pásový dopravník s kolejovým vedením), aby vliv procesu manipulaci se surovinami na jejich kvalitu byl zanedbatelný.

Dalším možným způsobem optimalizace činnosti provozu kompostárny je její vybavení čističkou odpadních a stokových vod. Kompostárna v Blansku má v blízkosti čistírnu odpadních vod, takže přebytkové odpadní vody, které nebyly použity k zvlhčování kompostu, se odváží do ní.

V kompostárně v Blansku může být využito i odpadního tepla, vznikajícího během procesu kompostování. Díky využití dnešních nízkopotenciálních výměníků je možné odpadní teplo částečně odvádět, čímž lze do určité míry regulovat proces, anebo ho využít například na ohřev TUV. Investice do ekonomicky náročné stavby výměníků s rozvodem teplé vody má smysl pouze u celoročně vytížených kompostáren, mezi které kompostárna v Blansku patří.

Z hlediska ekonomické efektivity procesu kompostování se dá pro kompostárny zastřešených typů navrhnout umístění střešních fotovoltaických panelů. U zastřešených kompostáren je zpravidla dostupná velká volná plocha na střeše, která může být využita s přínosem. Získáním „zeleného bonusu“ a prodejem elektrické energie, vyrobené fotovoltaickými střešními panely, můžeme přispět do rozpočtu kompostárny.

Snížení energetické náročnosti celého procesu způsobí také využití moderních univerzálních manipulačních a dezintegračních strojů, spojujících funkce několika různých strojů. Používané zařízení na kompostárně v Blansku - drtič, štěpkovač, manipulátor a traktor s čelním nakládačem by se s úspěchem daly nahradit univerzálním zařízením drtičem-štěpkovačem s manipulátorem-traktorem-nakládačem, což by v důsledku pomohlo snížit provozní náklady.

Správné navržení kapacity kompostárny také hraje zásadní roli v jejím efektivním využití. Z těchto důvodů se zpracovává tzv. analýza potencionální tvorby odpadu v okolí. V případě příliš velké kapacity nedojde k odpovídajícímu využívání. Naopak v případě, kdy kompostárna nebude mít potřebnou kapacitu, dojde k přezásobení skladovacích prostor nebo k případnému zbytečně dlouhému ponechání vstupního materiálu povětrnostním vlivům. V dnešní době kompostárna v Blansku patří mezi kompostárny s nedostatečným využitím její kapacity – zaplňuje se pouze na jednu třetinu. S kapacitou se už nic neudělá, ale možnosti zvýšení úrovně naplnění kapacity kompostárny existují.

Veřejná kompostárna představuje optimální možnost pro efektivní zpracování BRO bez ohledu na to, z jaké sféry tento odpad pochází. Zpravidla největším podílem jsou odpady pocházející z městské zeleně. Pro města s řádově desítkami tisíc obyvatel to jsou tisíce tun za rok. Dalším hlavním přispěvatelem je zpravidla dřevní štěpka, která tvoří přibližně stovky tun za rok od jedné středně velké firmy zpracovávající dřevo. V Blansku je takových firem minimálně osm. A poslední neméně významná a pravidelná složka je BRO od občanů, kdy opět pro město s řádově desítkami tisíc obyvatel to jsou stovky tun za rok.

Kromě již uvedených způsobů je možné zvýšit přijímaného množství odpadu od:

- lepší a intenzivnější údržby veřejných ploch;
- plošným sběrem BRO od občanů;
- navážením BRO ze zahrádkářských kolonií;
- zpracováním BRO z jídelen a jídlo připravujících závodů, kterých v Blansku je víc než třicet;
- zpracováním kalů z čistírny odpadních vod v Blansku;

Bohužel část materiálu je vždy sezónního charakteru (odpad z údržby městské zeleně), který je dostupný jen v teplých měsících (duben až říjen). Ale odpad původem od obyvatel, z přípravy jídla nebo zemědělského původu je na ročním období takřka nezávislý.

8 ZÁVĚR

Práce popisuje technologie a možnosti zpracování biologicky rozložitelných odpadů, rozsah jejich použití, předurčující výhody a s nimi spojené nevýhody. V praxi se často užívá spojení několika technologií do jedné, hlavně kvůli univerzálnosti použití a ekonomice provozu celého systému.

V práci jsou popsány technologické postupy zpracování biologicky rozložitelných odpadů pomocí dostupných moderních technologií. Také je zde popsán rozsah jejich použití, předurčující výhody a s nimi spojené nevýhody. Vždy je hlavní důraz kladen na ovlivnění životního prostředí, v případě uskladnění na dlouhodobou záruku pro případ úniku a případné znečištění podzemních vod, nízkou energetickou náročnost zpracování a na využívání moderních technologií, které umožňují částečnou recyklaci, případně využití například odpadního tepla.

Dále byl podrobně popsán jeden z nejšetrnějších způsobů zpracování BRO – kompostování, který může být zrealizován různými způsoby, jenž se vzájemně liší množstvím zpracovávaného materiálu, technologickým procesem, energetickou náročností a také charakterem vstupní suroviny. Ve spolupráci s firmou VIA ALTA a.s. byl podrobně popsán pracovní i technologický postup při zpracování surovin formou kompostování v nově spuštěném provozu kompostárny v Blansku. Důraz byl také kladen na popis legislativy a právních předpisů nutných pro provoz kompostárny a z nich vyplývající povinnosti obsluhy.

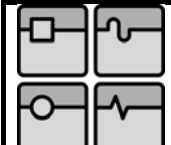
Jako výsledná část práce byl vytvořen popis jednotlivých parametrů, ať už vstupních surovin, či samotného procesu kompostování, které ovlivňují výsledný produkt, upravují jeho složení a kvalitu. Vedle uvedení jednotlivých parametrů, které přímo vedou ke změně výstupní kvality produktu, byly v předposlední kapitole této práce popsány návrhy optimalizace procesu kompostování i samotného provozně-ekonomického chodu kompostárny.

Hlavní přínos práce je především v komplexním popisu zpracování biologicky rozložitelného odpadu se zaměřením na kompostování. Do popisu byly zahrnuty veškeré faktory, které ovlivňují kvalitu i strukturu výsledného produktu, které lze ovlivnit ve všech třech fázích kompostovacího procesu. Díky spolupráci s firmou VIA ALTA a.s. byly uvedeny všechny ovlivnitelné parametry kompostu v souladu s jejich praktickými zkušenostmi.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Ministerstvo životního prostředí, *Mzp.cz* [online]. 2008, 2011 [cit. 2011-12-01]. Odpadové hospodářství. Dostupné z WWW: http://www.mzp.cz/cz/odpadove_hospodarstvi
- [2] ATE CR, a.s. *Ate-cr.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-12-01]. NAKLÁDÁNÍ S ODPADY,. Dostupné z WWW: <http://www.ate-cr.cz/nakladani-s-odpady>
- [3] ČR. Odpadové hospodářství: *Historie, současnost a vývojové trendy, koncepce odpadového hospodářství ČR*. In *Odpadové hospodářství*. 2006, Modul 1, s. 2-24.
- [4] ZEMÁNEK, P., Výzkumný ústav zemědělské techniky: *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*, 1.vydání, Praha, 2010, 113 s. ISBN 978-808-6884-523
- [5] PRAX, P., STUDNIČKA, T., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební: *Odpadové hospodářství, modul 4, Nakládání s odpady*, Brno 2006
- [6] ROVNANÍKOVÁ, P., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební: *Odpadové hospodářství, modul 3, Vznik odpadů a jejich základní fyzikálně chemické charakteristiky*, Brno 2006
- [7] ROZMAN, J., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechnická, Biomedicínské inženýrství: *Odpady*, Brno 2005
- [8] KRUMP: *Ochrana životního prostředí*
- [9] Recifa a.s.: *Zpracování odpadů*, 2010, Dostupné z WWW: <http://www.recifa.cz/zpracovani-odpadu-019>
- [10] SIGLOCH, M., Gras & Sigloch GmbH & Co.: *Textilrecycling mit Kompetenz*, Dostupné z WWW: <http://bvse.de/15/Textil>
- [11] ALBRECHT, J., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství: *Termické zpracování odpadů II: Zařízení pro čištění spalín*, Bakalářská práce, Brno 2010
- [12] Spalovna Chotíkov: *Moderní zařízení na energetické využití odpadů, Co je spalování odpadů*, Dostupné z WWW: <http://www.spalovnachotikov.info/veda-co-je-spalovani.html>
- [13] KURAŠ, M., Vysoká škola chemicko-technologická v Praze: *Způsoby využívání a odstraňování odpadů*, Dostupné z WWW: <http://www.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/1ZOZP/odpady/odpady3.htm>
- [14] MALAŤÁK, J., Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra technologických zařízení staveb: *Termické zpracování odpadů, Spalovny*, Praha 2006, Dostupné z WWW: <http://odpady.tf.czu.cz/p/Spalov.pdf>


- [15] PRAX, P., STUDNIČKA, T., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební: *Odpadové hospodářství, modul 6, Termické zpracování odpadů*, Brno 2006
- [16] VÁŇA, J., BIOM.CZ: *Koncepce nakládání s komunálními bioodpady v České republice*, 2002-01-09 [cit. 2012-01-10]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/koncepce-nakladani-s-komunalnimi-bioodpady-v-ceske-republice>>. ISSN: 1801-2655.
- [17] Vladeko, spol. s.r.o.: *Kompostování*, Dostupné z WWW: <http://www.vladeko.cz/uzitkova-zahrada/kompostery/kompostovani>
- [18] Horská farma Hucul, Janovka.eu: *Kompost*, Dostupné z WWW: <http://janovka.eu/kompost.php>
- [19] MARKT, W., University of Illinois: *Material for Composting*, Dostupné z WWW: <http://web.extension.illinois.edu/homecompost/materials.html>
- [20] KÁRA, J., PASTOUREK, Z., JELÍNEK, A., Biom.cz: *Kompostování zbytkové biomasy*, leden 2002, Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-zbytkove-biomasy>
- [21] ŠÁLEK, J., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební: *Odpadové hospodářství, modul 8, Kompostování*, Brno 2006
- [22] Centrum pro hospodaření s odpady: Metodický návod BRO, Dostupné z WWW: <http://www.ceho.cz>
- [23] VÁŇA, J., Deník – veřejné správy, Triada, spol. s.r.o., Výzkumný ústav rostlinné výroby: Možnosti zpracování biologicky rozložitelného odpadu, aktualizace: 5.12.2008, Dostupné z WWW: <http://www.dvs.cz/clanek.asp?id=6348963>
- [24] VÁŇA, J., BIOM.CZ: *Kompostování odpadů*, 2002-01-14 [cit. 2012-01-10]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>>. ISSN: 1801-2655
- [25] KALINA, M., Česká zahrada, Granada: *Kompostování a péče o půdu, 2.*, upravené vydání, 2004, ISBN 80-247-0907-4
- [26] ETC Consulting Group s.r.o., Mechanicko – biologická úprava: *Pojmy, definice (právní úprava ČR)*, aktualizace: 13.4.2010, Dostupné z WWW: <http://www.mbu.cz/cz/index.php>
- [27] VÁŇA, J., BIOM.CZ: *Anaerobní digesce komunálních bioodpadů*, 2002-09-25 [cit. 2012-01-09]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-digesce-komunalnich-bioodpadu>>. ISSN: 1801-2655.
- [28] SEQUENS, E., Calla – Sdružení pro záchranu prostředí: *Bioplynové stanice a životní prostředí*, Dostupné z <http://www.calla.cz/data/energetika/ostatni/BioplynaZP.pdf>
- [29] SLEJŠKA, A., VÁŇA, J., BIOM.CZ: *Anaerobní digesce, fermentace, stabilizace, vyhnívání či zkvašování?*, červenec 2002, Dostupné z WWW:

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 70
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-digesce-fermentace-stabilizace-vyhnivani-ci-zkvasovani>

- [30] KÁRA, J., HUTLA, P.,: Využití organizovaných odpadů ze zemědělské výroby a venkovských sídel, VÚZT Praha, 2008, ISBN 978-80-86884-40-0
- [31] DOLANSKÁ, J., Magistrát města Plzně, Technický úřad: *Co je to odpad?*, Dostupné z www: <http://odpady.plzen.eu/mesto-a-odpady/co-je-to-odpad/co-je-to-odpad.aspx>
- [32] HABART, J., HRČKA, M., HUMPLÍK, M., MAREŠOVÁ, K., Státní fond životního prostředí České republiky, CZ Biom – České sdružení pro biomasu: *Příprava a výstavba kompostáren, využívající biologicky rozložitelné odpady z domácností a údržby městské zeleně*, Praha, srpen 2009
- [33] SOUČEK, J., Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha: *Drtiče, štěpkovače a řezačky pro úpravu rostlinné biomasy*, Praha, duben 2008, ISBN 978-80-86884-31-8
- [34] ZEMÁNEK, P., BURG, P, MENDELU, ZF Lednice, VÚZT, v.v.i., Praha: *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*, Praha 2010, ISBN 978-80-86884-52-3
- [35] HAMŠÍK, T., CODET s.r.o., HAMMEL Recyclingtechnik GmbH, Drtiče, třídiče a zpracování kompostu, Dostupné z www: <http://www.hammel.cz/>
- [36] FAGUS spol. s r.o., Dodavatel zemědělské a komunální techniky, Dostupné z www: <http://www.faguspraha.cz/zemedelska-technika/komunalni-technika-seko/prekopavace-kompostu-seko-.htm>
- [37] KNÍŽEK, M., Bemargo, a.s., Ekologické hospodářství – harmonie mezi přírodou a zemědělstvím, Dostupné z www: http://www.bemagro.cz/vobr_komposty.html
- [38] MUSIL, J., AGROTEC a.s., Polní test traktoru New Holland T7070 Auto Command, Dostupné z www: <http://www.eagrotec.cz/polni-test-traktoru-new-holland-t7070-auto-command>
- [39] MARTÍNKU, R., AGRALL zemědělská technika, CLAAS AXOS v lesní úpravě, Dostupné z www: <http://www.agrall.cz/novinka/174/claas-axos-v-lesni-uprave>
- [40] Agrozet České Budějovice a.s., Kolový traktor JD 6520 s čelním nakládačem, Dostupné z www: <http://www.agrozetshop.cz/kolovy-traktor-jd-6520-se-celni-nakladac-jd-653/d-114972-c-1044/>
- [41] PLÍVA, P., AGROWEB, Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Praha: *Kompostování v pásových hromadách*, Praha, září 2010, Dostupné z www: http://www.agroweb.cz/Kompostovani-v-pasovych-hromadach__s1323x47402.html
- [42] PLÍVA, P., LAURIK, S., ROY, A., Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha: *Kompostování biomasy v místě jejího vzniku*, Praha, říjen 2010

- [43] PLÍVA, P., časopis Energie21, Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha: *Plochy pro kompostování v pásových hromadách*, Praha, srpen 2009, Dostupné z www: http://www.energie21.cz/archiv-novinek/Plochy-pro-kompostovani-v-pasovych-hromadach__s303x34394.html
- [44] PLÍVA, P., časopis Komunální technika, Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha: *Kompostování ve vaku – I.*, Praha, červen 2011, Dostupné z www: http://www.komunalweb.cz/archiv-novinek/Kompostovani-ve-vaku-%E2%80%93-I.__s317x56420.html
- [45] PLÍVA, P., časopis Komunální technika, Nakladač Kom511, Dostupné z www: http://www.komunalweb.cz/files/image/komunalweb.cz/kom511/kompostovani1-web_750x563.jpg
- [46] Ministerstvo životního prostředí, VYHLÁŠKA č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady
- [47] Ministerstvo životního prostředí, VYHLÁŠKA č. 341/2008 Sb., ze dne 26. srpna 2008, o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb.
- [48] SEDLÁČEK, P., TENEZ a.s., Hygienizace, Hygienizace biologicky rozložitelných odpadů pro využití v zařízeních na výrobu bioplynu, Dostupné z www: http://www.tenez.cz/app/clanek/170/hygienizace_bioplyn
- [49] STOJKOVIĆ, S., Stojkovic.org: *Facility for Composting Organic Komponent of Municipal Solid Waste*, Dostupné z www: <http://www.stojkovic.org/mechatronics/compostingorganic/index.html>
- [50] JIJDO, K., SUTO, K., MATSUMOTO, K., GARCÍA, C., SONOKI, T., Bioresource Technology, Sciencedirect, Campus Universitario de Espinardo, Faculty of Agriculture and Life-Sciences, Hirosaki University, Hirosaki, Japan: *Chemical and biochemical characterisation of biochar-blended composts prepared from poultry manure*, Pages Volume 110, 396-404, April 2012, Dostupné z www: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852412001447>
- [51] Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Nature Resources Managament and Environment Department: *Composting process and techniques*, Dostupné z www: <http://www.fao.org/docrep/007/y5104e/y5104e05.htm>
- [52] MACOUREK, M., BIOM.CZ: *Optimalizace surovinové skladby při kompostování zbytkové biomasy*, březen 2002, Dostupné z www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/optimalizace-surovinove-skladby-pri-kompostovani-zbytkove-biomasy-2>
- [53] BAHOUT, J., ITS, Česká zemědělská univerzita v Praze: *Optimalizace při výrobě kompostu*, Praha, únor 2005, Dostupné z www: <http://www.enviweb.cz/clanek/odpady/52218/optimalizace-pri-vyrobe-kompostu>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 72
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [54] BAHOUT, J., BIOM.CZ: *Program Composter a možnosti jeho využití při optimalizaci surovinové skladby kompostu*, leden 2008, Dostupné z [www: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/program-composter-a-moznosti-jeho-vyuziti-pri-optimalizaci-surovinove-skladby-kompostu](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/program-composter-a-moznosti-jeho-vyuziti-pri-optimalizaci-surovinove-skladby-kompostu)
- [55] ŠARTA, M., MěÚ Písek: *Analýza potenciálu tvorby odpadů v oblasti podpory*, Písek, červen 2009, Dostupné z [www: www.mesto-pisek.cz/soubory/dokument5216.doc](http://www.mesto-pisek.cz/soubory/dokument5216.doc)

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Jednotka	Název, popis
m	[kg]	hmotnost
El. energie	[kWh]	Spotřebovaná elektrická energie
Tlak	[Pa, bar]	

Použitá zkratka

Popis

BRO	Biologicky rozložitelný odpad
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
MV	Ministerstvo vnitra
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
a.s.	Akciová společnost
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
OHSAS	Systém bezpečnosti a ochrany zdraví při práci
ECDL	European Computer Driving Licence
MŠMT	Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
TUV	Teplá užitková voda
ČR	Česká republika
EU	Evropská Unie
pH	Vodíkový exponent, potenciál vodíku
AT4	Test respirační aktivity
KTJ	Kolonie tvořící jednotky (mikroorganismy)
PE	Polyethylen
As	Arzen
Cr	Chrom
Ni	Nikl
Cd	Kadmium
Cu	Měď
Pb	Olovo
Hg	Rtuť
Zn	Zinek
O, O ₂	Kyslík, dvouatomární kyslík
H, H ₂	Vodík, dvouatomární vodík

Použitá zkratka	Popis
N, N2	Dusík, dvouatomární dusík
CO2	Oxid uhličitý
C:N	Poměr uhlík:dusík
H2O	Voda
PCB	Polychlorované bifenyly
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A.....	76
Příloha B.....	77

PŘÍLOHA A

SKUPINY ODPADŮ

Kód Skupina odpadů

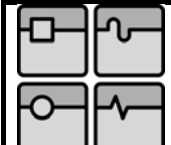
- Q1 Zůstatky z výrob a spotřeby dále jinak nespecifikované
- Q2 Výrobky, které neodpovídají požadované jakosti
- Q3 Výrobky s prošlou lhůtou spotřeby
- Q4 Použité, ztracené nebo jinou náhodnou událostí znehodnocené výrobky včetně všech materiálů, součástí zařízení apod., které byly v důsledku nehody kontaminovány
- Q5 Materiály kontaminované nebo znečištěné běžnou činností (např. zůstatky z čištění, obalové materiály, nádoby atd.)
- Q6 Nepoužitelné součásti (např. použité baterie, katalyzátory apod.)
- Q7 Látky, které ztratily požadované vlastnosti (např. znečištěné kyseliny, rozpouštědla, kalící soli apod.)
- Q8 Zůstatky z průmyslových procesů (např. strusky, destilační zbytky apod.)
- Q9 Zůstatky z procesů snižujících znečištění (např. kaly z praček plynů, prach z filtrů, vyřazené filtry apod.)
- Q10 Zůstatky ze strojního obrábění a povrchové úpravy materiálu (např. třísky z obrábění a frézování, okuje apod.)
- Q11 Zůstatky z dopravy a úpravy surovin (např. z dolování, dopravy nafty apod.)
- Q12 Znečištěné materiály (např. oleje znečištěné PCB apod.)
- Q13 Jakékoliv materiály, látky či výrobky, jejichž užívání bylo zakázáno zákonem
- Q14 Výrobky, které vlastník nepoužívá nebo nebude více používat (např. v zemědělství, v domácnosti, úřadech, prodejnách, dílnách apod.)
- Q15 Znečištěné materiály, látky nebo výrobky, které vznikly při sanaci půdy
- Q16 Jiné materiály, látky nebo výrobky, které nepatří do výše uvedených skupin

PŘÍLOHA B

Příloha č. 6 k vyhlášce č. 341/2008 Sb.

Zařazování výstupů ze zařízení k využívání bioodpadů do skupin podle způsobu jejich využití

- (1) Výstupem ze zařízení k využívání bioodpadů jsou výrobky, které splňují požadavky jiných právních předpisů¹⁴⁾, výrobky, které splňují požadavky této vyhlášky a odpady, které již nejsou považovány za bioodpady.
- (2) Výstupy ze zařízení k využívání bioodpadů, vyjma výstupů z malých zařízení, které nejsou uváděny na trh nebo do oběhu podle jiných právních předpisů¹⁵⁾ a které budou používány mimo zemědělskou nebo lesní půdu k zakládání nebo pro údržbu veřejné zeleně v obcích, z jejichž katastrálního území bioodpady zpracované v malém zařízení pocházejí, se podle svých vlastností a způsobu využití zařazují do následujících skupin:
 - a) 1. skupina - výstupy, které splňují požadavky na výrobky podle jiných právních předpisů¹⁴⁾ (například bioplyn, kompost, digestát). Výstupy, které nejsou uváděny do oběhu podle jiných právních předpisů¹⁶⁾ musí odpovídat minimálně požadavkům na výstupy 2. skupiny.
 - b) 2. skupina - výstupy, které splňují požadavky této vyhlášky a využívají se mimo zemědělskou a lesní půdu. Na základě skutečných vlastností, složení a způsobu využití se skupina dělí na tyto třídy:
 1. Třída I - určena pro využití na povrchu terénu užívaného nebo určeného pro zeleň u sportovních a rekreačních zařízení včetně těchto zařízení v obytných zónách s výjimkou venkovních hracích ploch. Kritéria pro využívání na povrchu venkovních hracích ploch se řídí jiným právním předpisem¹⁷⁾,
 2. Třída II - určena pro využití na povrchu terénu užívaného nebo určeného pro městskou zeleň, zeleň parků a lesoparků, pro využití při vytváření rekultivačních vrstev nebo pro přimíchávání do zemin při tvorbě rekultivačních vrstev, na území průmyslových zón, při úpravách terénu v průmyslových zónách (rekultivační kompost v doporučeném množství nepřesahujícím v průměru 200 t sušiny na 1 ha v období deseti let a rekultivační digestát v doporučeném množství nepřekračující 20 t sušiny na 1 ha v období deseti let). Rekultivační digestát musí být aplikován v dělených dávkách tak, aby nedošlo k zamokření pozemku na dobu delší než 12 hodin či k jeho zaplavení. Pro uvedená místa a účely je možné užívat i Třidu I;
 3. Třída III - určena pro využití na povrchu terénu vytvářeného rekultivačními vrstvami zabezpečených skládek odpadů podle ČSN 83 8035 Skládání odpadů - Uzavírání a rekultivace skládek, rekultivačními vrstvami odkališť nebo pro filtrační náplně biofiltrů (kompost). Pro uvedená účely je možné užívat i Třidu I a Třidu II.
 - c) 3. skupina - stabilizovaný bioodpad určený k uložení na skládku v souladu s jiným právním předpisem¹¹⁾ nebo k jinému způsobu využití, než výstupy 1. a 2. skupiny.
 - d) 4. skupina - výstupy ze zařízení k využívání bioodpadů, které nesplňují podmínky pro 1., 2. a 3. skupinu a které jsou odpady biologicky nerozložitelnými, určenými většinou k jejich odstranění.
- (3) K výstupům ze zařízení k využívání bioodpadů zařazených do skupin podle odstavce 1 s výjimkou výstupů 1. skupiny, kde se postupuje podle jiných

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 78
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

právních předpisů¹⁴⁾ se při jejich uvádění na trh nebo do oběhu zpracovává průvodní dokumentace, která obsahuje:

- a) identifikační údaje (název a sídlo nebo jméno a příjmení, bydliště a místo podnikání, lišili se od bydliště) výrobce a distributora,
- b) název výstupu, zařazení výstupu do příslušné skupiny podle přílohy č. 6,
- c) datum produkce (výroby), balení a expedice,
- d) vlastnosti výstupu - výsledky zkoušek sledovaných ukazatelů stanovených v příloze č. 5 a další údaje o složení,
- e) způsob balení výstupu (údaje o množství v obalu nebo ve volně ložené dodávce, například objem, hmotnost, počet obalů ve skupinovém obalu),
- f) návod k použití (označení skupiny a třídy podle přílohy č. 6, doporučené dávkování, způsob aplikace, ochrana zdraví lidí a životního prostředí, apod.),
- g) vymezení prostředí použití (místo použití),
- h) doporučený způsob skladování a doba použitelnosti,
- i) vliv na jiné výrobky,
- j) způsob distribuce.

11) Vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady.

14) Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů. Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), ve znění pozdějších předpisů.

15) Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů. Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

16) Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech).

17) Vyhláška č. 135/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch, ve znění vyhlášky č. 292/2006 Sb.